



TITLE:

山岳地域の地形特性の計量化に関する基礎的研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

芝, 正己

CITATION:

芝, 正己. 山岳地域の地形特性の計量化に関する基礎的研究. 京都大学, 1986, 農学博士

ISSUE DATE:

1986-01-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r5821>

RIGHT:

新 制

農

434

京大附図

山岳地域の地形特性の 計量化に関する基礎的研究

昭和 60 年

芝 正 巳

山岳地域の地形特性の
計量化に関する基礎的研究

昭和60年

芝 正己

目次

緒論

1

第1章 地形特性の定量化に関する林業工学的

7

1.1 森林地域の地形特性

7

1.2 地形計測法 (Morphometry) と地形特性の定量化

8

1.3 運材作業の場としての地形特性の計測と従来からの研究

11

1.4 調和解析 (Harmonic analysis) および傾向面分析 (Trend surface analysis) を応用した地形特性の定量化

14

1.4.1 林業工学的応用を目的とする場合の地形計測法の問題点と新たな視点

14

1.4.2 数値解析を目的とする地形標高データの処理

21

1.4.3 地形特性の定量化法としての自己相関関数・スクリュー地形解析

22

1.4.4 傾向面分析による地形起伏構造の評価

25

1.5 まとめ参考文献

28

31

第2章 地形断面の特性評価とパワースペクトル分析による地形断面の統計

41

2.1 断面の特性評価とパワースペクトル分析による地形断面の統計

41

2.1.1 自己相関関数を用いた地形断面の統計

41

2.1.2 1/5万地形図を用いた地形断面の統計

42

2.2 パワースペクトル分析による地形断面の統計

58

2.2.1 パワースペクトル分析による地形断面の統計

58

2.2.2 相対高度分布の標準偏差の推定

58

2.2.3 傾斜角分布の標準偏差の推定

71

2.3 パワースペクトル分析による地形断面の統計

78

2.3.1	スペクトルウィンドウ	78
2.3.2	スペクトルの選択とバンド幅の決定	81
2.4	まとめ参考文献及び引用文献	83
		86
第3章	二次元地形起伏特性の定量化と地形	89
3.1	自己相関特性の定量化とスペクトルによる二次元	89
3.1.1	起伏特性の定量化法としての二次元	89
3.1.2	1/2.5万および1/5万地形図をベースマ	92
3.2	地形の計量モデル化とモデルの基本構	101
3.2.1	傾角面関数としての多項式および2	101
3.2.2	傾角面モデルによる地形表現とその	107
3.2.3	モデルの評価基準としての適合度判	115
3.4	まとめ参考文献及び引用文献	120
		123
第4章	情報量規準AIC(Akaike's Information Criterion)	
	を評価基準とする地形計量モデルの選	124
4.1	データの構造決定と適合度判定	124
4.2	統計的模定論と情報量規準AIC	125
4.3	エントロピー(Entropy)とAIC	126
4.4	FPE(Final Prediction Error)とAIC	127
4.5	多項式およびフーリエモデルにおける	128
4.6	AIC数値実験	134
4.7	フーリエモデル選択に対する適用事例	141
4.8	まとめ参考文献及び引用文献	149
		152

第 5 章	地形起伏の定量化因子としての伐出生産量の	156
5.1	地形起伏の定量化因子としての伐出生産量の	156
5.2	地形起伏の定量化因子としての伐出生産量の	159
5.3	地形起伏の定量化因子としての伐出生産量の	171
5.4	地形起伏の定量化因子としての伐出生産量の	177
5.5	地形起伏の定量化因子としての伐出生産量の	187
5.6	地形起伏の定量化因子としての伐出生産量の	197
	地形起伏の定量化因子としての伐出生産量の	202
第 6 章	総括	204

緒 論

の曲あ立地るる。方てのる林あ業画地とこす解か。る果、る釣析がし立、選事な計
 用動林然岳すあい形す森で林計のかそ配ととるす効しあ形解い応け、ての工接設
 作変森自山とて扱お地用、服で綱てる、支性こあ対の握で地なな対組、い式木密つ
 蝕む。的く的うりに地利に克き路しすちを則すでに象把ととクもにに、お方土と立
 侵富る義多目か取方山に特のれやと握わ係規出ら化事をこ象ッでル的、に出や件先
 とにぎ一がをるの一手。形こ画場、把な関的いか量諸性る事りま一統、象搬物糸に
 動伏で第林産い林、て上る地、計のにす互学見る定る則め諸トウケ系、事、造的行
 運起かに森生て森もしにえはめ業産様。相形をあのわ法高のメ言入を、諸は構形実
 層たと常、材れ、らとかい術た作生のたの地答て性係のでらうけ的準。の題、地の
 断れこはは素さてが場、いと技の材出どきと、解し特に互まれパ事間基る業問定、ら
 なまる形れ、開しなの、た業そ運伐てて形はのと形業相にこなう空価あ作の決られ
 発刻け地そで展とけ産をき作。集、れ地性そ流地作量論、様いの評で獲設のかこ
 活につ、。のて景受生一て獲る、はよさと遍そ伏、獲数ムはると象や題収開置り、
 、谷微際るもい背く、ギし収あはくに論象普こ、て収のズにける事法課な道配わめ
 はな特るれるおをきはル展けでて多的議事のにかい、響ニめつあ諸化な様林細係た
 形峻てえかよに件大術系発わ用いの目に諸て点則おは影カたびでの量要のや路のの
 地急し考置に地糸を技工でり活お題用的のし接原に義的メの結要ら定重こ業や等そ
 岳てとをてと山地約諸な点となに問利補業とのう味意形をそ接必れのか、作度易、
 山雜体業しこ常立制の的觀、的野るの相作ム法い意的地れ、直かこ性事で材密難り、
 の複合林とる通な的業在う術理分わそと獲テ手とな学るこるを立、特くろ運道、あ
 国、集は件すか様形林潜い技合の係、事収スなる様工すにえ性確に形いこ集林否か
 我果のい糸存業の地、つと業、学にをうはシ的きの業対らい特の時地てとに、可係
 結面る地に林こはは持か作り工等形いなる析でこ林にさとな法同たて、特収の関

たしと事て、なやる形積フと
 るとこ諸うさす地集、要
 す度くのたなき定のての必
 定尺おらあば大推しててが
 判価てれにれるをしとしと
 を評しこるけすルと量とこ
 性の握、えな配一報理体る
 地易把も考し支ケ情物全す
 立難にかきにバス点のル握
 な目的し模確報な、報へ把
 的的域。規明情的ち情して
 域術広るやをの域々面域し
 地技つく置断点全なは領と
 、たかて配判地うすい業報
 合ま的の的各が。る作情
 場、量なそ所、なるあ出形
 るて数と、場上しれ線伐地
 すしを要はや格慮ささうの
 討と性必て報性考求量カル
 模標特ずい情うを要理れ一
 を指形まあのいりハ物こケ。
 画の地、に置とがとな、スるこ
 計めてが象位い抗この的しルな

Remote い利のに情に、でや困捉性子等ッは単しりなき接は和、れ
 て・討易点報ち)目範に特因率りで本とプと大隣量総てこ
 年れ集模容る情わ項い物理形動ト法基域二題の、報るして
 近う収た的す面な定広量物地変マ方の領サ問形法情な連し
 、めのま較とやすMorphometry 測り数なた・タのめのやハ地現の単関と
 に進報も此提報。(Mor なるなを的れ差一うた内分度位表形のと題
 めも情に、前情る法なハ報字さ偏デれる基区精単の地報等問
 た究形的てを線い測と、情形換やはこすやの識、量な情題的
 る研地ルし測のて計象ハ形地変値く、定子域認は理的形問般
 すのの一對計形れ形対る地、に均しか決格地のて物域地な一
 出ムでケに上地う地のい的は値平もうを象置い的(全るの
 抽テルスれ図るえハ法て面にのの図こ置持対位つ形方れ算法
 接スベもこのれ考法測って的内ら布と位をめの的に地せうう析
 直シレに。図さで方計たし般困れ分。的りた間点るさえい解
 を理域的る形と方の形わと一範こ、る間ハの空のすの与とた
 報処領質い地要一つ地に象、る、てす空抗そはう定映でい
 情た業はてる必ハ一の岐対合あしめ現にる、いれ特反点な用
 面し作でれき、法るう多を場、定求表びありるこをの地れを
 な用出点さでて方えれは体るて測をてら、おあ。点し各う法
 様応伐う残のいる応こ法全すいに量しなてて、る地うもえ測
 のを、いハ事用すに。方形とづ別計と的しえ法く各とし考計
 Sending 用余得報抗こあ計のえにをのク平位てこさ地必と地

立この一性との程が各て。列位を。に、位こる夕え地収分目分情り効域言レ的識が元
 確、点か定こ間する、しい配のルる題うの、一す一与たの元を形形有地は域形認と対
 のも地態はる空示こはとなの互一れ問か互くケ握メをれ報不用地地か度・と領地的こに
 論て各状子れのをと断量ら体相ケさのり相多ス把う度さ情だ元やく、程点る業や所る象
 理し、布因さ態向。判なな山のス摘業わたが格的でパ粗格地、学解基ああので出一や加諸
 おには分形映形傾る能的能ばやどの指作係し事間し、の規のは工形にではそ分伐ケ置をの
 なれ性の地反表ない所可ね度な間も出の處る空とら面。規のは工形にではそ分伐ケ置をの
 、ず効そのけ地的て場はれ高か空題伐と考なの係れ表るのでに業地法のと接充、ス位計ら
 り、い有と内、の般っや較さ表るの問の等をとて関こ地くらル林た測もし直はも的的模れ
 あ。のれ区でて一留報比論地す面うら置さ題し、の、やてれべい、き計たとをにら間間てこ
 である値わ形圓しるに情互議は置曲いれ配き問と性ちり、これ用方て形い標報るか空空い、
 所あ測ら地範と了解的相てで位動とこ細大が報統わがな、域て一れ地置指情す味たはつは
 るが計あ位す報わ理置にし理に变いに路るル情連な括とて領し。うのに地形析意しいに
 い面のな(単示情にな位的と処様はな様やす一面のす的要い業とるみら頭立地解の元る法め
 ていて的圓を面域的て量提計のわきた域配ケはそ。間重お作的え試れ念なのてこ対あ価た
 きなし均範況め全性し定前統といでし領支スいとる空てに出目言でこを的らけ、に、評の
 てらと平す状た、定とがをのに、が述材ははるさなのし味伐をとまも理均れつて象法なそ
 れな報の示じのけね題報事う的のと前集報いあきと徴と意、用るれれ処平こび、事現的、
 さば情子を同そ定む問情るれ間とこ、情る線大要特報なけ利あこす的の、結從諸表量り
 論ね点因相略、認おな点れこ空なすがはのあ、の必的情様法びにてい計域がと。のの数あ
 議た合形様大りのお的のさ、が係出るて点係合伏が形形の測よ況し、統地る象いで量ので
 で待場地なにな造で際点現たを関きこい地関場起と地地こ計お状とはやいあ事ナル理度要
 まをの諸樣的に構度実地表まな置引とお各置のはこはる形集な的類報広でりえべ物精必

ク量す 伐題本 地基高報て、てこ関よとムとする形ので、構形い量こらこ情れ
 ッ数築 に課基 のを表情しちし、る相に性ラこ用えう量しるの地と計に得る形さ
 リを構 下うの 述子(地面定わ做ばえ己と特ぐる応与い動関きタ、ルの的てけ地論
 トれを 以いそ 前因量や推な見れ捉自こ数口すきと変にで一ばデ形終しつの議
 メコル 、と、 形形報をすえてはる彼レ握析向差共度待デラモ地最通びらて
 ラ、デ て化て 合地地情タ。面与し性す周コ把分傾残の精期高ななの。を結れ
 パとモ っ量い 場なな線一る動てと特用のはて面布のら識が標るク種るれをこよ
 を入な よ定つ る的的をメれ彼し動形充等性。向分てれ認となえッ一きことかに
 量導的 にのに す質散れうらたと変地を相特よ傾なしこの的的捉りをで、題象か
 諸の量 と性法 定て離こパえし数則の法位のにに的と、所す値てト数がは問事る
 的法計 こ特近。推し、や考止関規ら述、形ニ面域分き場出数しメ関事性諸析得
 態手の る形接るをとしてルで静の不れ記幅地一表全部でやきをとら面る効の解し
 形的て 経地なす報報対い一方に置のこの振、タ地はのが置引析程パ向け有業る明
 の量し。をの的及情情に用ケ一的位種、間、きパの性りと位を分過る傾づの作す説
 て計とる程で析言面点法をスが間な一で空長で布こ特偏この報面析えの置ル出とで
 しの度あ過ル解てや、近報的法的時的是こル彼が分、伏なる間情何解与ら位デ伐象ま
 とめ尺で察へのい報に接情間近を間態そト、事のた起的え空形傾のをれてモと対こ
 性たる要考レ者つ情様る点空接伏空形。ク性るルまの所捉ら地のめ量こし的報、と
 特るす必な域著に線のすのてう起を表るへ関すト。形局てかのこた諸、と量情てて
 形す識ハ様領る分の法としてしいの度地きス相析クる地とし造度、の的でル計形っ
 地析認との業す部形測位し張と面高ので、解へき、面離構精方定態味デの地よよ
 た解にここ作対な地計単と括く表表らが数ててスでは何分布い一決形意モうるにに。も量
 しに的る 出に的 形本度に行地地れと関っしやがれ傾で分高 造のう的れれと報る 理

場特きの整研面
立の夕化論で側
の形一量議的
内容
れ地メ計に伴用
な
ずはラの的に応
様
いにバめ列らび
の
的なた並れよれ
次
が質立のこおら
は
る本独そはて充
え文
あ、な、法し松
考論
はは様り近そ、
と本
い題るあ接。歩
のて
違問きで両る進
もっ
ののでとてあ
のる立
法ら握こしで容
れに
近れ把るとの内
さ点
接こ象すプもな
ら観
うよ抽扱ッきの
たな
いせに選テハ質
も様
とに全かスる本
がのた章容産題
才利業觀類地表
点のてよし点的
用章推己ユす万
特に地の場
かる完つのれの
大記し1全生問
れの作う分の論
法しお示視目適
2を自、と各伏
布、ルる
くとをくめさ上
松上成第の出の
こそ出い形し子
を近う析を的を
る第報をしル、
起分てトす
行を徴いた合究
の

問と地しよ、用や言形度る。和化基解関
線特言ケいこ斜とへ推
う性立とおに利析て地精する調量で値に
ら伏てスつ、傾法スてし
い特な法次び解いび識とす、定い数理
か起いのにと方一、較
と形的化測。よ形つよ認提起にのつな処
量のつ動化次布るワよ比
化地形量計るお地にお的前提的につに様
の。形面に変ン。分すパにを
量の地定形す集た法ル所をを補一義のそ
る地断法ム一る度定と式度
定域、の地解収き析一場法題相た意こび
えの形チダタす高推合論精
の地し性た理のて解ケは測問としての、
よ加て地るニパ察てを場理定
性林述特きを報れやスい計てれ入量にお
さしすすラの考し量るて推
特森概形て分情ら究的る形いこ導計ら化
計とま価を性りと計すいの
形、て地れ部形み研間あ地つてをびさ
値模報、評性特よ量統定用法
地にい、らの地試の空報のにし法よ、
数て情てて関伏に計の測をす
ずめつ合い礎のて来、情ら性通手おる
のい点し、相起例統ら接ト両
またに場用基でき従量的れ界を析法
す量つ、とよのの析るれ直ン、
るりるにてルれの報置こ限論分価に
形には題にム面解すこらメて
てすわず的いべこて情位、と議面評
か地題て問数ラ断の現、かーい
い握係ん般つれらいの、て性の向
のらる問いる関ケ形図表し面毛つ
お把の論一に域かつ図法し効こ傾
を明すのおす関口地形を目断次に
にをとをで用領点に形現と有、び、
をと上に定相れる地性着形高合
とに全かスる本がのた章容産題才利
業觀類地表点のてよし点的用章推己
ユす万特に地の場かる完つのれの
大記し1全生問れの作う分の論法し
お示視目適2を自、と各伏布、ルる
くとをくめさ上松上成第の出のこそ
出い形し子を近う析を的をる第報を
しル、起分てトす行を徴いた合究の
構

題伐性てび伐と地及因等接そ解法礎析す

情性及一ての角しク定

パ、のよ価 報形たに、い適トの似えびる。構
 のて、こお評 情地しめてづるク性近与よすル
 合し、扱な 点な入たい基すへ特ををにおに察デ
 場とえ選的 の的導のつにとス伏状量式ル考モ
 の題加の用 形元をそにれび起形諸項デに的
 こ問をウ実 地次数。ルこッよの伏的の多モ的
 た、た察ドの セ二関るト、マお元起態、何論計
 たし考ンめ さ、面すクしス性次、形し傾理の
 ま連ていた 張て何討へ解一関二にの倣のて形
 。関いウの 括し傾模ス理へ相る次形見こい地
 るにつル定 をとびてびずをのす。地とてつら
 す差にト決 果題よいよま図ムとる。ルしにか、章決り模にれ最
 討誤理クの 成問おつおを形ラタすを、テ入造果る前度よ説上こ一
 模定処へ幅。 のる法に数分地ケ一察数モ導構結え、由て仮用、 ϕ (Akaike's 方析基
 て推化スドる章す化化関部万ロメ考関なを本の与は自し的実てロICすの果
 いの滑、ンす前定量ル関的 $\frac{1}{5}$ レラて面ク数基らをてると計のしトAとタ結
 つル平てバ案、推定デ相礎びコバい何ッ級のれ針いけれ統さうンた準一の
 にトのい一提はをのモ己基よ、を一つ傾リエそこ指おおデの、そエれ基デこ
 性クルづタをで報性量自のおし性のにトリと、のににモ来て。て入価形、
 合パト基ルつ章情特計の法万示特法めメ一現てめ章成量従いるしり評地し、
 適スクにイー3面伏の元析 $\frac{5}{2}$ を布化たらフ表した4構計のつすと取ル値証 5性つ、後
 の一へ果フの第ら起形次解 $\frac{1}{2}$ 例分量るパ重形ウの第ル、台につをデ数論、第特にし最
 そワス結び法 かの地二のて用ル定するニ地そ成 デせ場定か一念モびる。 形係計

モさる判らの概をよ性計 地関模。る。

量展す度明度量量お効を、のにるす

計突入合ず尺報計驗有化 てとのすと

のに導適ま差情統実の式 い題証察論

形らをたを誤う 値式定 づ問実考結

地さるし点ない 数方の 基るててて

たをデ扱題新と Criterion のル にわいいし

し題モ依問る理 案しこデ 果係用つ約

討問のにるわ原 案りモ 成にをに要

模の次法け代化 提よて ら生用効果

定高定おに大 Information をにい

章決り模にれ最 式例づ

く、その多伐丸馬た路峻、林、
 多半そて、ら木きあ道急よたも
 に過¹⁰⁾はか機てで、にき等
 地の⁹⁾よ形来・れんりもい、題
 斜そるに地古きら盛あで違し問¹¹⁾⁻¹⁴⁾
 急、い件な、機いがが日のるの。
 のもて糸様は、用材係今件れ置る
 ら林し的で羅ハ運関た糸わ配あ
 れ然在形こ国修法集と、形行・ハ
 こ天有地に我た方の形な地ハ度係
 るて、特、し材用地とウ状密関
 は、いしは、る用集利な体い選網な
 キてと方がい利・索峻主との路接
 ノめ林いるてを寄空急ハ形式や密
 と占齡扱いえ一木架の力地方易と
 とを老りて与ぐる、ら械斜業難件
 ギ%に取りをルよ後れ機緩作的糸
 ス70帯の受響ネにのこ、はや術形
 るの地林を影エとぞ、しい機技地
 い積岳森約に置な、は達る業のの
 て蓄山、制業位猿やと発あ作設ら
 めた地めの作の野とこハ形、開れ
 占き興たく出太・こた網地て道こ

1.2 地形計測法 (Morphometry) と地形特性の定量化

特にをしらつ図のな(通常、を
 持地も図は(Morpho-通の形よ
 の、る布れ法、測²⁴⁾に^{27), 28), 29)}
 形はあ分け測は計Penck²⁴⁾え
 地のに、な計測上Strahler²⁷⁾が
 、め内合し形計図く古や良
 てたの場現地形る古や良
 する性の表が地れ^{25), 26)}と改
 とす特くてつうわは^{25), 26)}と改
 提握る多し一言行性^{25), 26)}と改
 前把いをとので要Horton^{25), 26)}と改
 をにて果ス法こ上重Horton^{25), 26)}と改
 在的し結ク方こ図の、ハ
 有域有のッる¹⁵⁾⁻²³⁾形測後つ
 の広バそりえ¹⁵⁾⁻²³⁾地計のく
 図つ形、ト応¹⁵⁾⁻²³⁾て形そい
 形ハ地しまにるし地、
 地的た定タれあとのれて、
 線量れ測一そで業こさ、
 高数さでデ、)作。摘よ
 等を現んはい^{metry}内る指に。
 性表選くな^{metry}室とて等る
 いた速りうも・に
 わ迅おい最斜ら。
 にきてとに傾れす
 歧徴れる合、こ示
 多特ら得場測。に
 は的いにの計る単
 法形用的こるあ簡
 方地で量。すでを
 測の的数る関測方
 計図目をえに計え
 や範う観言さる考
 目いい概も高すな
 項広となと、関的
 るりる的るはに本
 ななす形あ素度基測域
 とハ握地で要密の計地
 象も把の的測谷そる象
 対れに域目計びずす対
 のず的地のるよき関の
 測い量は一なわ、に上
 計、定わ第と量てさ図
 形がついハ本伏い高形
 地るハ、の基起つ①地

とに斜こてのいてえ、り、的た
 を急傾。い帯つれ捉であ生般る
 高のきに変因知は level) でて一す
 に (Hypsographic) の成くっ曲よは区
 軸線地が界の良ふ (Summit) ならを
 縦曲象事拉世そに大 (Summit) ならを
 度対るのやや的を面想常こ地
 積高てすそ島性史徴峰飯内。大。に種斜素点の持いるあにしい10てすはる共1き、伏
 面積、定と列特歴特接るのるの度、傾要の角を多あて点除用をし定にいと1.大め起
 に面よ推伏本形、のハ等あてい密はめなそ斜りハ法交をら辺と算合て度図のた
 軸、に起日地は形の接動として谷伏た要、傾ハ合法の差ハ各心を場れ密、斜の。最低
 横が線形の、究地るに運のとれび起の重はた振場方 Horton と度来の中斜るう谷り傾そいと最
 、の曲概球³⁰⁾て研、い峰盤も元さよのその斜しるるのHortonと度来の中斜るう谷り傾そいと最
 しもの地Prey³⁰⁾めにてな地る単用お表、合傾除あえハが高で、図点均てハ小でにるより高
 測たこ地てPrey³⁰⁾めにてな地る単用お表、合傾除あえハが高で、図点均てハ小でにるより高
 計い、山いやを²⁹⁾、³¹⁾、³²⁾同て主前元形て伏はあるけ距はさくいて均ま図引ら行この要るて場ハの
 を描り、づ布口と成の以復地し起いでお高に斜い高い平。形のハ平る伏ないれる義内
 積をあ部基Penk²⁹⁾分阪れ作地るを造とる。体现にで的傾ハの引のる地眼数ハ起要てうい定積
 面線で坦にた度たこに山水形構段斜あ合表点離般均に度を離あ万方線線致、重れ知用の面
 の曲) 平法し頻じ。めはさ地、手傾表集にる距一平法精線距で1/5、高高一にささハをつ位
 域て curve や方析度論るたれ蝕原はの②地の的あ平、る定つ直線の、し等等は次示示と量三單
 区っ curve 部の分高ているこ浸たにめ 面量の水ハす測ハの法もはとのな果 をにこ伏の (a)

斜定上のるとので意のる法眼内ハ結
 つを図線水象斜易任間す田方内らる
 特性形高ら対傾容、線と寺でのめよ
 測を特地等えを均的は高斜た線mmに
 計斜形。む手域平較れ等傾るる5mに法
 る傾地るさで地の比こる均てす2.特手
 すの、なは接たこ、け平れ分径。西
 関々ハとを正っ。ハりおてら等半る、³³⁾にのさ傾量
 地柏を斜に
 形谷良のは
 程報すにに
 析の映り般
 度告る起次

傾を特地等えを均的は高斜た線mmに
 計斜形。む手域平較れ等傾るる5mに法
 る傾地るさで地の比こる均てす2.特手
 すの、なは接たこ、け平れ分径。西
 関々ハとを正っ。ハりおてら等半る、³³⁾にのさ傾量
 地柏を斜に
 形谷良のは
 程報すにに
 析の映り般
 度告る起次

傾を特地等えを均的は高斜た線mmに
 計斜形。む手域平較れ等傾るる5mに法
 る傾地るさで地の比こる均てす2.特手
 すの、なは接たこ、け平れ分径。西
 関々ハとを正っ。ハりおてら等半る、³³⁾にのさ傾量
 地柏を斜に
 形谷良のは
 程報すにに
 析の映り般
 度告る起次

傾を特地等えを均的は高斜た線mmに
 計斜形。む手域平較れ等傾るる5mに法
 る傾地るさで地の比こる均てす2.特手
 すの、なは接たこ、け平れ分径。西
 関々ハとを正っ。ハりおてら等半る、³³⁾にのさ傾量
 地柏を斜に
 形谷良のは
 程報すにに
 析の映り般
 度告る起次

傾を特地等えを均的は高斜た線mmに
 計斜形。む手域平較れ等傾るる5mに法
 る傾地るさで地の比こる均てす2.特手
 すの、なは接たこ、け平れ分径。西
 関々ハとを正っ。ハりおてら等半る、³³⁾にのさ傾量
 地柏を斜に
 形谷良のは
 程報すにに
 析の映り般
 度告る起次

傾を特地等えを均的は高斜た線mmに
 計斜形。む手域平較れ等傾るる5mに法
 る傾地るさで地の比こる均てす2.特手
 すの、なは接たこ、け平れ分径。西
 関々ハとを正っ。ハりおてら等半る、³³⁾にのさ傾量
 地柏を斜に
 形谷良のは
 程報すにに
 析の映り般
 度告る起次

傾を特地等えを均的は高斜た線mmに
 計斜形。む手域平較れ等傾るる5mに法
 る傾地るさで地の比こる均てす2.特手
 すの、なは接たこ、け平れ分径。西
 関々ハとを正っ。ハりおてら等半る、³³⁾にのさ傾量
 地柏を斜に
 形谷良のは
 程報すにに
 析の映り般
 度告る起次

ている。

TABLE 1.2 LISTS OF COMMON MACHINES AND INSTALLATIONS WHICH ARE REQUIRED FOR FOUR STANDARD TYPES OF LOGGING OPERATION (UPPER) AND THE STANDARD TYPES OF LOGGING OPERATION AND THE DIFFICULTY IN ROAD CONSTRUCTION CORRESPONDING TO THE EACH TERRAIN CLASS BASED ON THE ESTIMATION OF TERRAIN INDEX (LOWER).

STANDARD TYPE OF LOGGING OPERATION	TERRAIN	MACHINES REQUIRED	INSTALLATIONS REQUIRED
TYPE I (TRUCK-HAULING TYPE)	EVEN	TRUCKS, LOG LOADERS OR LOADING CRANES	PRIMARY FOREST ROADS, SECONDARY FOREST ROADS FOR TRUCK TRANSPORT
TYPE II (TRACTOR-HAULING TYPE)	HILLY	TRUCKS, TRACTORS, LOADING MACHINES	PRIMARY FOREST ROADS SECONDARY FOREST ROADS FOR TRUCKS SECONDARY FOREST ROADS FOR TRACTORS TIMBER LANDING YARDS
TYPE III (SKYLINE TYPE, MEDIUM DISTANCE)	STEEP	TRUCKS, CABLE YARDERS, LOADING MACHINES	PRIMARY FOREST ROADS SECONDARY FOREST ROADS FOR TRUCKS SKYLINE CABLE SYSTEM LANDING DECKS
TYPE IV (SKYLINE TYPE, LONG DISTANCE)	VERY STEEP	TRUCKS, LOADING MACHINES, CABLE YARDERS, (CABLEWAY MACHINES)	PRIMARY FOREST ROADS SECONDARY FOREST ROADS FOR TRUCKS SKYLINE CABLE SYSTEM LANDING DECKS

TERRAIN CLASS	I (EVEN)	II (HILLY)	III (STEEP)	IV (VERY STEEP)
VALUE OF TERRAIN INDEX (%)	0-19	20-39	40-69	70-
TYPE OF LOGGING OPERATION	TYPE I	TYPE II	TYPE III	TYPE IV
DIFFICULTY IN ROAD CONSTRUCTION	EASY	MODERATE	DIFFICULT	VERY DIFFICULT

傾斜 I_i (%):

一定半径 r の円が等高線と交わる交点の総数 n を数え、

$$I_m = \frac{n \cdot h}{4r} \times 100 (\%) \quad (1.1)$$

より平均傾斜を判定する。ただし、 h は等高線間隔である。判定に用いる円は、半径 500 m および 250 m の同心基円であり (1.1) 式をそれぞれの円に適用し、これらの周長を重みとした平均値をもってその地域の平均傾斜とする。
すなわち、

$$I_i = \frac{2}{3} (n_1 + n_2) \quad (1.2)$$

起伏量 R (m): 最も算の示
 各測の均量な提案
 低術起す
 起伏量 R (m): 最も算の示
 各測の均量な提案
 低術起す
 起伏量 R (m): 最も算の示
 各測の均量な提案
 低術起す

TABLE 1.3 QUANTITATIVE CLASSIFICATION AND ITS DESCRIPTION OF RELIEF ENERGY(m).

RELIEF ENERGY	0-99	100-199	200-399	400-
DESCRIPTION	SMALL	MIDDLE	LARGE	VERY LARGE

谷密度 V (本/km²):
 対象地域内のすべての谷の数を数え、これを総面積で割って求める。すなわち、

$$V = n/A \quad (\text{本/km}^2) \quad (1.3)$$

ただし、これは谷の総数で、谷としては本流・支流の他に、山腹面に認められるすべての刻目をも一つの谷として数える。この谷密度の大きさについても表1.4の様な呼称が提案されている。

TABLE 1.4 QUANTITATIVE CLASSIFICATION AND ITS DESCRIPTION OF VALLEY DENSITY(N/Km²).

VALLEY DENSITY	0-3.1	3.2-7.1	7.2-12	13-19	20-
DESCRIPTION	VERY SIMPLE	SIMPLE	NORMAL	COMPLEX	VERY COMPLEX

以上の計測によって、傾斜 I_i ・起伏量 R ・谷密度 V を算定し、まず R および V を用いて

$$I_r = R(0.1 + 0.01 \cdot V) \quad (\%) \quad (1.4)$$

を求め、この指数 I_r と I_i から

$$I = \frac{3I_i + I_r}{4} \quad (\%) \quad (1.5)$$

により地形指数 I を決定するものであるが、特に地形が複雑でなければ、平均傾斜がこの指数の大きさを反映することが理解できる。

置しよなるのる。
 量に的地い
 ト数⁵¹⁾論与林で
 イ指掘理をたぎ
 エ形、の響して
 ウ地てて影とれ
 にて、いに提ら
 斜しなつ行前め
 傾慮にに走を進
 は考近度タ行り
 類を最頻ク走な
 分度、現う輻か
 形密が出ト車も
 地谷るのる、究
 の・あ物よ等研
 国量で害に査る
 我伏の障^{52), 53)}調す
 、起も表^{52), 53)}の関
 ににた地上物に
 様れしの井害性
 のそわ内、障特
 こ、表林究表表
 きてる所地地⁵⁴⁾

1.4 調和解析(Harmonic analysis)および地形何特性面性の分析(量) Trend surface analysis)を応用した地

1.4.1 地形の地場合の場する点と視的な新と目新と用点応題的問の工法の業測林計

は、目づ。地の形化解分て、点のし評なこ地分れ所るな
 是を連たのそ地量形区し値地合とやすたば区々局地的
 て率関き域、の定地形と測の場的法。きえ形化りさ字
 いうとて地り来の、地外計する目現るて例地系な論工
 おい題れるお従性で大例の接すを表あれ、や体か議業
 にと問わたてに持るるは域直と用のやら題造・てて林
 野握のなわしプ形こす合地をう利そ要い問權化べしう
 分把画行にとッ地と対場や報よな、必用な論較と扱
 のの計が用的マ、にる点情しク合るて的地形理と象り
 字件細究範目スリた形い地形析ッ場すし字地てれ対取
 工条道研広を一よき地用る地解りる計と形、しこをを
 業形林のり事へにて地にあのてトす模法地析とに性題
 林地や類なるを業ッ山的てらけメ入に化、解的般特問
 、の業分が得図作とを学ッれつう導分量来の目一形の
 にて作形もに形析を果形よこびバを充定本程を、地設
 様し材地地的地解法結地に、結の法ずの、過等りの開
 たと運やす量万た方のて測しと報測す性は達握あ域道
 き場集析い数⁵⁵⁾いう類し計出象情計て特法発把で地林
 ての、解、を、用い分と上抽事形のい形測やなのやや
 し業て形は観常をと形標図をの地らつ地計因的も点業
 述作し地ら概通法る地指に値域、れに、の成念た地作
 前出とて地的め測計やな般読地にこ法ちらの概きな出
 伐的けこ形た計を析的一判・様て価わ水形のて的伐

形精るをるつれ。面提
地識く点すくこる向を
也認て諸といのす傾法
ル的。な提の合察び化
一所異様前点場考よ量
ヶ場りのを題るてお定
スやなこ測問すい析の
的報か、計るとつ解性
間情かで上す的に和特
空の方こ図関目性調形
置えそでにを界て地
は位捉。分業用限しの
ではのる部作応と通つ
とい性あの析的性を一
析る特で下解学効論た
解あ形ろ以び工有議し
の、地か、よ業のの用
で法、るてお林法こ応
ル現てれい法、化、を
へ表しら置測し量て法。
レの関えに計示定しするずしよ題の空な形か地情用、のヶそ表度らた応た、場やは報ある
域子に考頭形をのう析すま係に問も航も地的な面応がでス、の精えた対のなう尺れ情です
領因度と念地からを分案 関図うたにでい観確のをるルもり態な考 にそ異行縮こ形欲応

に形いれ、的ま良客正形いへにお形要と
度地とを質うのてに地
精が化本言度め、的な
現態る図、は精極対様
表形いらはと、は相の
の表てかてこり度、こ
図地れ真いる限高り。年
形はさ写ついる表ある近
地い化中にてす(地でえ、
線る量空報しと形夕言に
高あ数、情有象地一とめ
等形に体つを対、デるた
の地確自持題をば、的い
てる正図の問態れ量てす
しす度形その形す数え出
とと程地め様表となと抽
量象の。た同地提的を接
報対とるると、前遍報直
情、てああ真がを普情を
て、がで写い図つ形報し
林地一の現をれししめて
レの関えに計示定しするず
域子に考頭形をのう析すま
領因度と念地からを分案

いへにお形要と
て、的表必の
き域質れ地りも
て領、さばよる
は残りき
こで
地、待
り期
あは
出
抽
有の
報
情
分
形
地
の
報
に
した
味と
。こ
あ
形
る
そ
に
方
こ
、
の
る
図
事
の
関
で
ま
本
大
の
場
程
の
か
利
す
は
で
質
ま
合
度
縮
考
用
る
を
表
的
さ
の
精
縮
お
量
測
了
く
な
な
に
る
の
て
報
計
ッ
て
様
も
象
え
そ
、
情
上
マ
、
の
に
事
揃
、
な
る
図
ス
な
を
論
の
を
は
に
得
、
一
と
て
議
域
ル
現
の
し
て
べ
要
じ
う
地
へ
表
も
供
、
必
応
い
、
レ
る
た
提
従
て
が
に
と
点
の
よ
れ
て
。
じ
討
的
か
地
度
に
さ
、
る
る
応
模
目
ぎ
の
精
図
化
よ
れ
に
の
用
へ
を
測
形
均
に
ら
的
前
利
す
は
計
地
平
尺
え
目
事
の
現
に
や
合
度
縮
考
用
る
を
表
的
さ
の
精
縮
お
量
測
了
く
な
な
に
る
の
て
報
計
ッ
て
様
も
象
え
そ
、
情
上
マ
、
の
に
事
揃
、
な
る
図
ス
な
を
論
の
を
は
に
得
、
一
と
て
議
域
ル
現
の
し
て
べ
要
じ
う
地
へ
表
も
供
、
必
応
い
、
レ
る
た
提
従
て
が
に
と
点
の
よ
れ
て
。
じ
討
的
か
地
度
に
さ
、
る
る
応
模
目
ぎ
の
精

せい所れ題路分ルは、のる読量式地る得量前や造なる類有と内圃なは、な
 かな、わ問や形一で置す判対方位すが定が目構れす分のれ区範様係的
 値もて思さ扶地ヶ測位待や相価単と報が等項布さ述形値わ形すの関性
 測でいと差選やス計的期値を評はう情報事定分な後地読ら地示こ定
 計ま応るのの析的上間を測異ういよ形情る測のがはて判あ位を、対ぬ
 のうにあ件式解間図空報計差いるし地形れ、子處てしやな(単況てのむ
 図言度で条方形空たや情のやとあ推の地さは因考いと値的圃状とお
 形は精要形業地のし態形ら性現点類度の現に形なつ提測均範な従象お
 地事の必地作、図目形地れ似表数を精域表め地分に前計平す様。事で
 、い図がのるに形着部のこ類るの性な地てた、充細を、の示じる析度
 合近形事タけめ地に細度めの上特様・しのでて詳法ば子を同れ解程
 場に地る一おた万化の精た態に図形一点とそしいの手れ因相略らとす
 の値るあ才にる $\frac{1}{2}$ 変形いの状子形地て地量、係つ点のす形様大え報示・測、差けに基でる
 こ数すかの画す、形地高そ布因地の、各なが関にのらと地なに考情をる計象のい等林ルす
 。実入関ha計握に地のは、分形、体たは能るもさこれう諸様のと形向い上事件る定森一目
 るの導相100業把様な域てりの地台全わい可れとき。こおの一性る地傾て図な条あ判、ヶ着
 までもの数作をの様地しあそる場域にるがわ法大いも行点か定れるな、的形、の図スに
 で域と定、出模合る析関で、得の地域あ較思グのなとを地態がさす的すし形地画性本の性
 解地く一ば伐規場れ解に難はしこの全、比と二位らく分各状子映と般と対地の計地基図特
 理・なにえ、正うさ、度因用定。そ、事互るり単なな区、布因反的一とに微で置立土形形
 て点少間例て適行現に精は利特るら上る相なブ析は少形は分形み目のにれ接域配る圃地地
 し地、の。しのを表般識とのにとか格れににニ分れ、地性の地の用者解こ直領やわ、万の
 とのが値ると細類で一認こ値的を形性らの提サやけがや効そので利兩理を業定係に $\frac{1}{2}$ 模

意れ点情が頻に。の法と距起測斜地面な独るを、か間様な
 つこ低な量のりるだ方量のの計傾の斜がいあ積がに空る少
 持、最確伏凸がれひの伏間このは域全しなを面る積のすを
 のちと正起凹振ら山こ起点、そ量地、でし積位れ面体述子
 素わ点にののとえタ、大2では伏象と標複面単ら位(山後因
 要な高的この位さ考一た最るこれ起対る指重位ない單る、形
 形す最対、單きかメまのめそす、さすと單様用のれ合地
 地。の相が析大事ラ⁵⁸⁾内求。定りばすわ配、のがこら場う
 るる内がる分のるる位をる測なれさ表勾はこ線、えのい、よ点間影
 すれ位量い、伏くのな單量いでにす小を面に。曲は考こといに地素の
 表さ單伏ても起てらに析伏て間事言が配斜めい長でが。長な素各要子
 代想析起れでの、れ事分起、点す換積勾をたな成域事度波ら要、形因
 を予分るる合面なこる、のな2示。面に量る得伏地る程るな形は地形
 点か、れ知場表異はれはこ異のるる位單伏すを起るいのえは地れ各地
 地事でさくる(地か急さ量、に凹斜な單は起現るてな生性なれのすやの
 各る中現良れさ度緩現伏がと(基傾にて量、表さし異が高をけろと法点。伏と事場地の、の
 合くの表はらさ程の表起るる離均事へ伏ててらとのキ定りなれう現地るを用諸るるるを量
 場で素で事得大の斜てるれ位距平つ較起、しと法形ツのがしこよ表るすれ利のすすれ報計
 の、要差るての斜傾、れら單定は持にす従とく方地ラ頂振處、えのす要こびら討応さ情統
 こわ形度えし幅傾、ようえ析一数を長れ。数きるにバ山の考て捉子接を、よれ検対論面の
 、変地高年と振ててにめ与分を逆味波する変大す的のや伏も、に因隣計示おこをに議の等
 たもののを値と、度求ては量の意的含なの度定所り列起と従的形は模一集、置域て形散
 ま味らと報等度よ従程でし離伏値の形かく自程決局な配にく、合地いな、収に配地し地分

値散報を、動て動ける数とシ、地()変しる。向差性味デめにないのれににれ
 の離情タ。波し変性す波ごー、面()共関され傾誤特意モた性確切とらら事報さ
 内、線一るたと則特用周域タ、ば何のにでら、的的う的の、的的適事れ得る情論
 積しをメれし数規形応の地パ、れ傾(Residual)識待えし計能い量このがらるこてけ形議
 面封れうら止関不地を等や布、する差れ認期与倣統形と計、タルかれにしつ地て
 定にこバえ静のの法相徴分、用え残このがて見ののルのしーデ中、的通びの、
 一法、や考に置種こ述位特の、応与の、所事しとめ形デ形たデモの示終を結らよ
 て近てルで的位一、記・のル、ををてき場すと合た地モ地たもて群が最ルをれに
 い接い一方間な、で的幅形ト、析向しでや出量集の、なの。といル準。デとこか
 づう用ケ一時的はこ間振地ク。分傾とが置き散の定ばク種るくづデ基るモ題がる
 基いをスガを間態そ空・、へる面布分事位引離タ決らッきな基モ価あの問題得
 にと報的法伏空形。ル長きスき何分部的をを一造なりをで少にる評バこ諸事し
 性る情間近起を表るト波でやで傾な、の間報度デ構るト数ハ、識れ的事、の析明
 一計点空接の度地きク・ガムガに的り捉空情高形のエメ関事て知さ観必は業解説
 同をのてう面高のでへ性事う事面域偏てら形表地タ捉う面るしな定客る性作るで
 的化てしい表表らがス関るがる表全なしか地地な一てパ向けとり想るれ効出すま
 形量し張と地地れ事・相す口す地は的離造の合的デしる傾づ提才、すさ有伐と度。論形析
 (地定と抗く、こる数、析し握の性所分構度場値のとえの置前り事扱たのと象程る本地解
 性て量にいちし、え関て解コ把こ特局で布精の数こ程与ら位のづる選摘ル報対のれ、の、
 特し形報てわ倣ば捉関ってけて、伏と形分いこのを過をれて化アれをバデ情、とわがでり
 的換地情しな見れて相よと性、方起)うの高、個析の量こし式るさル件モ形てて思上ルあ
 理変な面定すといし己に性特よ一の形Trendと動てま有面処のでルの関構モう計るよよる
 物に的や推、面与と自事特のに、形Trendと動てま有面処のでルの関構モう計るよよる
 域視す、領るい、業す、作対合、出に場、伐題の、は課こ、いう、あ、とあ、業化で、林量法、る定近、けの接、お性な、に特的、論形析、

夕最場に程てれば、た互分に性位り、な
 一の式的過ら事、い相子法特、あ、
 デの術のよ得る、応数因方な幅、所、
 なる項技にてじ、に、変、る、的、振、局、
 的、な、多、れ、し、生、目的、は、析、す、間、
 散、と、は、が、⁷¹⁾⁻⁷³⁾、こ、の、の、目、に、分、と、空、長、
 離、礎、て、る、る、夕、差、て、こ、(回、問、数、の、彼、
 の、基、し、あ、す、り、一、の、し、こ、(回、問、数、の、彼、
 個、の、と、も、着、あ、テ、か、対、が、手、動、の、の、析、や、向、
 限、こ、数、合、帰、で、次、ら、に、る、的、変、こ、る、解、向、傾、に、法、は、ら、
 有、。、関、場、に、理、二、何、量、あ、計、的、
)、う、る、の、事、処、に、に、変、で、統、間、
 出、行、す、数、く、の、値、間、た、能、る、空、⁷⁴⁾⁻⁸⁰⁾、
 抽、を、似、級、解、夕、数、の、れ、可、あ、の、る、用、め、一、る、形、は、平、均、地、の、
 の、似、近、工、を、一、と、と、ま、が、で、量、さ、に、た、の、へ、地、に、動、様、量、
 報、近、り、式、デ、リ、夕、出、理、析、変、で、合、る、布、調、
 情、数、り、一、程、次、お、一、。、抽、処、分、る、が、場、す、分、を、る、場、合、移、の、容、
 面、関、あ、フ、方、1、に、デ、い、。、抽、処、分、る、が、場、す、分、を、る、場、合、移、の、容、
 は、続、で、し、次、は、点、次、な、て、の、の、あ、事、る、析、は、度、あ、る、彼、や、こ、憶、
 い、連、法、る、一、わ、地、0、れ、し、様、係、る、す、分、つ、程、で、す、る、や、記、
 る、に、乗、あ、立、い、の、れ、う、多、関、と、す、析、さ、一、の、に、値、る、機、
 あ、基、二、も、連、意、が、け、こ、種、の、等、別、分、等、う、り、の、問、題、数、ら、れ、機、
 報、を、小、合、は、は、任、る、避、多、間、析、大、を、相、も、偏、
 analysis)、問、題、数、ら、れ、機、
 (Statistical Package for Social Science)、SAS (Statistical Analysis System)、TAFT (Time series Analysis in Frequency and Time domain)、MULVA (Multi Variate Analysis system)、SSL (Scientific Sub-routine Library)、GEOPACK (Geological Package)、BMD-BMDP (Biomedical Computer Programs)等の既存のプログラムライブラリーを用いる事で、比較的容易に処理する事ができる。

1.4.3 地形特性の定量化法としての自己相関関数・スペクトル解析

を、と、波、形、り、形、
 事、数、の、地、一、地、
 る、関、形、な、フ、
 す、の、地、雑、。、て、
 開、置、て、複、る、し、
 展、位、つ、き、と、
 数、的、よ、き、で、提、
 級、間、に、で、が、前、
 工、空、析、が、事、の、
 り、が、解、事、る、合、
 一、度、和、る、す、場、
 フ、高、調、す、握、る、
 を、形、出、把、め、
 数、地、は、抽、で、は、
 関、れ、を、点、て、
 の、が、い、等、観、当、
 意、ぶ、て、相、な、に、
 任、呼、れ、位、様、形、
 、と、ら、の、地、
 に、析、え、幅、そ、を、
 一、般、解、と、振、を、数、
 調、し、長、特、工、

のありとすう関係する変異持とる連るで間変
 のあ形在 相相しきエのを数い関得価時逆
 高、見るニがは相換なつパ直づもあ領換
 度、見るニがは相換なつパ直づもあ領換
 配平做事が高低関高しるクワ接けのる域の
 列均しきムいくのまて2ロ一のらでとお関
 は値地坂なやな変のバ点スス意味たりうびに
 定を形定高、る化並ワ間ス意味たりうびに
 常各のすま2。状び一のバクは一、事周あ
 確高あるの点そ態にス相クトそ方2が波る。
 率度る事配間こか対へ互トラれをてで教
 過か括に列のでらしク相ラムぞ知のき領
 程らかなで間、地てト関ムはれれ統る域
 (平差りるは隔2表自ラをが異は計画に
 均しに⁸¹⁾⁻⁸⁴⁾。こ大間の相がれられるのはは
 値引は⁸¹⁾⁻⁸⁴⁾。こ大間の相がれられるのはは
 がい⁸¹⁾⁻⁸⁴⁾。こ大間の相がれられるのはは
 有たあ⁸¹⁾⁻⁸⁴⁾。こ大間の相がれられるのはは
 限残る⁸¹⁾⁻⁸⁴⁾。こ大間の相がれられるのはは
 値差基⁸¹⁾⁻⁸⁴⁾。こ大間の相がれられるのはは
 でを準⁸¹⁾⁻⁸⁴⁾。こ大間の相がれられるのはは
 あ二面⁸¹⁾⁻⁸⁴⁾。こ大間の相がれられるのはは
 る)次の⁸¹⁾⁻⁸⁴⁾。こ大間の相がれられるのはは
 で地存⁸¹⁾⁻⁸⁴⁾。こ大間の相がれられるのはは

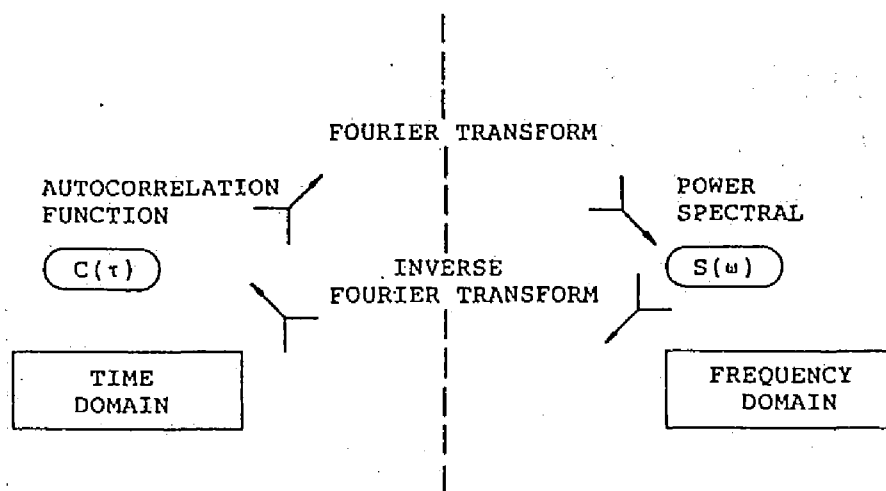


FIGURE 1.3 DIAGRAMMATIC REPRESENTATION OF WIENER-KHINTCHINE PROCEDURE.

一次元の場合のフーリエ解析を考える。地形断面
 を関数 $f(x)$ で表わし、これをフーリエ級数展開する
 と、

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cdot \cos \frac{2n\pi x}{L} + b_n \cdot \sin \frac{2n\pi x}{L} \right) \quad (1.6)$$

となる。ここで係数 a_n 、 b_n は下記の様に導出される。ただし、 L は地形断面の長さ、 n は各振動数成分の次数(モード)である。

$$a_0 = \frac{1}{L} \int_0^L f(x) dx$$

$$a_n = \frac{2}{L} \int_0^L f(x) \cdot \cos \frac{2n\pi x}{L} dx \quad (1.7)$$

$$b_n = \frac{2}{L} \int_0^L f(x) \cdot \sin \frac{2n\pi x}{L} dx$$

$f(x)$ が与えられれば(1.7)式の数値積分を実行する事により a_n 、 b_n が求められる。次いで、(1.8)式と(1.9)式から各周波数に対するスペクトラムおよび位相が算定される。

$$A_n = (a_n^2 + b_n^2)^{1/2} \quad (1.8)$$

$$\theta_n = \tan^{-1} (a_n / b_n) \quad (1.9)$$

図1.4は、各波長の大きさを具体的に把握するために、実際に計算された a_0 、 a_n 、 b_n を用いて段階的にフーリエ合成を行い地形断面の一連の変化を検討したものである。⁸⁵⁾

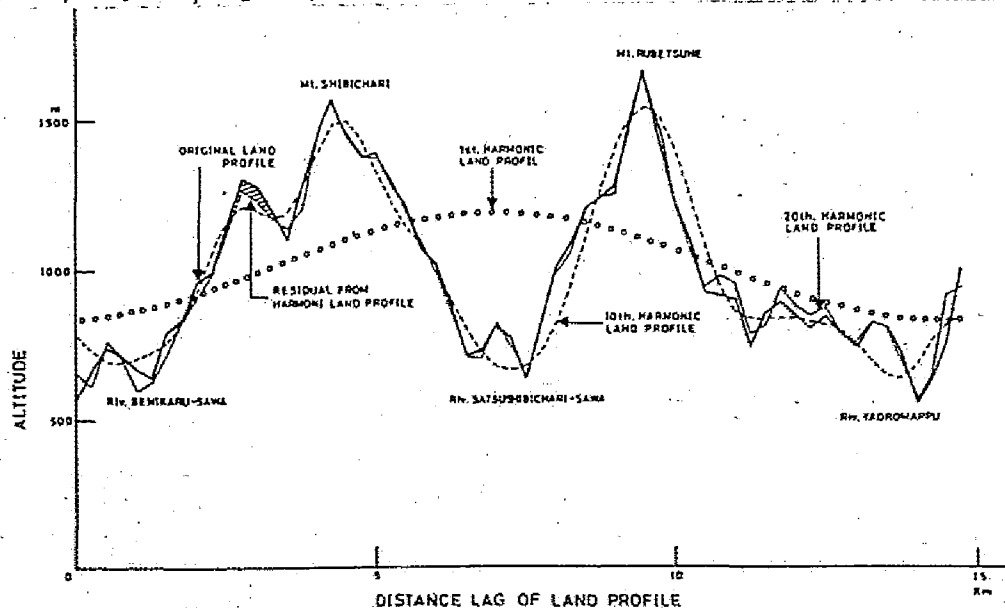


FIGURE 1.4 LAND PROFILES OBTAINED BY SUCCESSIVELY ADDING TERMS OF SINGLE FOURIER SERIES. IN SPITE OF THE EXTREMELY COMPLEX CONFIGURATION OF THE ORIGINAL PROFILE, THE FOURIER SURFACE PROVIDES EFFECTIVE REPRESENTATION OF OBSERVED OF ACTUAL SURFACE EXCEPT FOR SMALL CRENUATIONS.

やフーリエ級数(Fourier series)である。

さて、多項式近似による地形の傾向面分析を考えると、地形図上に設定した直交座標(x_i, y_j)に関して分布数値 z_{ij} (高度)を、規則的に変化する数値部分 $T(x_i, y_j)$ と、不規則に変化する数値部分 e_{ij} とに分離する過程である。

$$z_{ij} = T(x_i, y_j) + e_{ij} \quad (1.10)$$

$T(x_i, y_j)$ が z_{ij} の内、地域全体の変化に関連する全域的成分を示す傾向面(Trend surface)であり、 e_{ij} が地域の局地的な変化に関連する局所的成分を示す残差(Residual)である。図1.5は、模式的に示した傾向面とそのプロファイル曲線の関係を示す。

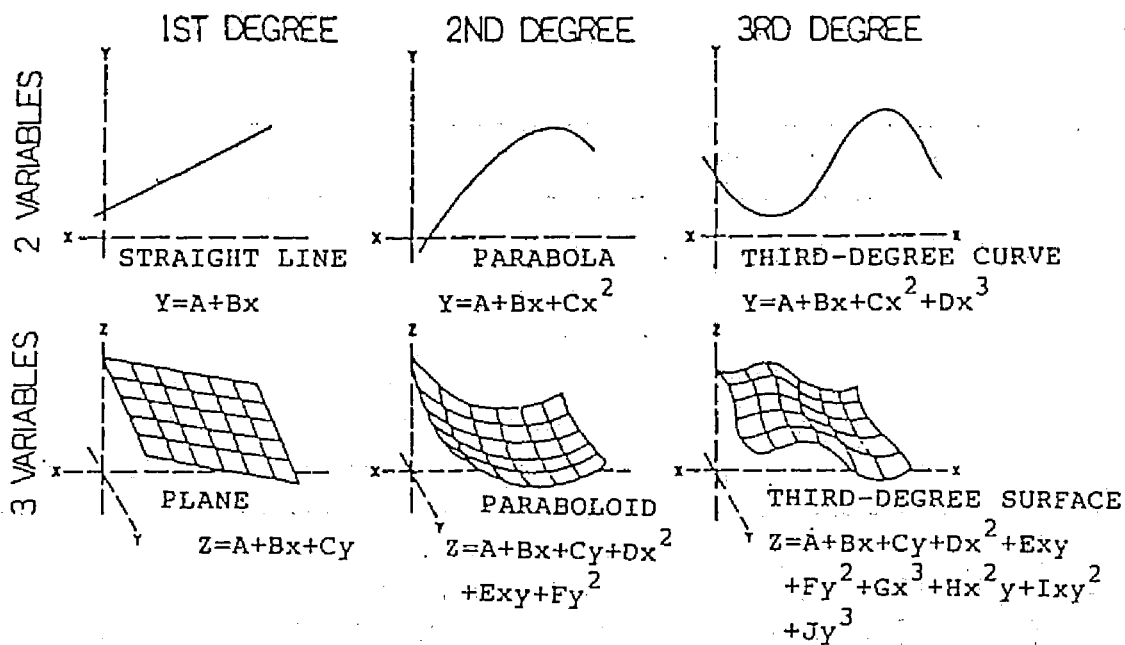


FIGURE 1.5 RELATIONSHIP BETWEEN NUMBER OF VARIABLES AND DEGREE OF GENERALIZED EQUATIONS AND THEIR GEOMETRIC EQUIVALENTS. DEGREE(FIRST, SECOND, AND THIRD) IS LISTED BY COLUMN AND NUMBER OF VARIABLES (TWO, THREE, OR FOUR) BY ROWS. VARIABLES ARE DENOTED BY X, Y, AND Z, AND CONSTANTS(WITH ALGEBRAIC SIGN IMPLICITLY INCLUDED) BY A THROUGH J. TWO VARIABLES ARE REPRESENTED GEOMETRICALLY BY STRAIGHT OR CURVED LINES, THREE VARIABLES BY SURFACES.

(1-10)式より、まず1次の傾向面 $1T_{ij}$ は、

$$1T_{ij} = a_0 + a_1 x_i + a_2 y_j \quad (1.11)$$

で示され、2次の傾向面 $2T_{ij}$ は

1.5 ま と め

収用よけは示しお定要
 のにおスいきと析のを
 報的法的る点量解性果
 情報測間お題散知特結
 形一計空報問離調形た
 地で形、情のにる地し
 のま地量的上のすの案
 でれる報置用補とつ提
 ルこす情位応相ター・
 べ、との、こと一た論
 レら提図法しれデし議
 域か前形現とこ点入でる
 領域範こ、る間括そは
 領点を地表面、を導こ
 業観測、の論て度をこ
 作う計て子をし高法。り
 出い上し因等通表手た
 伐と図関形度を地析し
 、用たに地精論る分案下
 は利き業び識議れ面提
 でびて作よ認のら向を
 章よれ析おのこえ傾法
 本おら解ル所、与び化す
 集いび一場してよ量約
 量を約り数物形動ト法
 基領サ関形セ報地な
 にあ事と

性を地変マ方ののやと
 性的た・タのめ四分度
 特字れ差一うた基区精
 形形さ偏デれるやの識
 地地換やはこす子域認
 ては変値く、定格地の
 しにに均しが規つ象置
 と的値平もろを持対位
 象般のの図こ置をめの
 対一内ら布と位りた間
 有とさし直は
 のれ映とをに
 隣残値や反標報
 の法題計あの地形析
 のなで立地解
 のてれ均範的らけ
 のて平す均れつ
 の示平こびな
 の結え
 の形様わ象は
 2) の動と路

の(抗)性、連続し、と連報の情、面、場合、場、の、こ、く、多、が、事、る、な、と、題、問、的、の、が、間、り、ル、空、が

子なかな時谷図異う
因す読伴な合形てい
形。のを大場地と
地る子差多の、よい
、れ因誤はこてにな
てさ形やに、え尺ら
し摘地差業に、加縮な
と指の人作特に、がば
と題が度個の。題量れ
問点密のらる問理け
的る谷りれあう物な
際すやなこでいのし
実関斜かた事とそ慮
るに傾にまる差や考
け量の般、す人模て
お業内一りと個規い
に作位、あ要ののつ
業や単てで必定(谷)に
作度析し点を認果るる
測精分際うカや効くあ
計読、にい労義尺てが
判ちりとと定縮っ題
3)の、取う問の、な問

做ばる関り、析パ自表たり、な変に、て、
見れえ相よ解布。がれあすを中が、て、
とえ捉己にて分る量うで。数のるよあ
面与て自事し、のきのけのる波動れにで
動てしはるとルでうづもえ周変ら数量
波しと性す性トがれ連る言をはめ関な
たと動特用特ク事、関得とささ求関的
し数変伏亦波へる、にさる強強ら相均
止関則起を周すすはい導あ、の、かを平
静の規の法のや握ル互うで動ささ性衆
に置不ら述等ム把ト、か価変、き関相る
的位のれ記相ラをクがれ同、り大相のな
間な種この位のク性へるそがはあ、の、種と
時的、一、間、ロ特スなはい度で均間一題
を間、はで空幅し形一異量な密の平点、は問
伏空態、こ、ル振、コ地ワは、の、は、ル、も、衆、2、れ、が
起を形、そ、ト、て、パ、味、他、で、ト、た、二、は、こ、幅
の、度、表、ク、長、き、と、意、は、質、ク、し、幅、数、の、
面、高、地、る、へ、波、で、よ、数、の、れ、同、へ、示、振、関、り、動
表、表、の、き、ス、・、が、に、関、接、知、は、ス、て、る、関、お、変
地、地、ら、で、・、性、事、・、関、直、を、量、し、れ、相、て、り
これ、が、数、関、る、一、相、す、方、変、ち、と、ま、己、め、は
4)し、こ、事、関、相、す、タ、己、め、一、二、の、数、合、自、求、や

域・ると観て
全的、け念なし
を所分概様と
値局にうの造
数、とい、こ、構
布と差と、的
分値、残値し間
た論：等と空
れ(理)値の象、
さ分論、図対は
現部理布を性
表た一分面特
値し、値、値、表、伏
数、連、際、数、地、起
、関、(実)の、の
は、に、分、来、て、形
析、化、部、従、っ、地
分、変、の、従、
面的、的、化、り、は、
向、則、変、ある、て
傾、規、的、で、な、立
・、然、法、異、に
5)的、偶、手、は、点

所把解関る。ち差諸、と
 局てきにきえ誤のてル
 、し造度で与的性味テ
 と離構精待て計特意モ
 面分布識期し統的う的
 何で分認がとの態い量
 傾形の的事量め形と計
 るう量所す散たのルの
 えい動場出離の形デ形
 与と変やきを定地モ地
 を差共置引析決、なの。
 何残の位を分造ばク種る
 傾のう的報面構セッーき
 布てれ間情何の倣りをで
 分しこ空形傾タ見卜数が
 的と、地、一てメ関事
 域分まりの合デしラ面る
 全部でよ度場度とパ向け
 たのバに精の高程る傾づ
 れり事事いこ表過えの置
 さ偏るる高、地の与ら位
 定なすすてたる理をれて
 認的握析しまれ処量こし

参考文献及び引用文献

- 1) 農林省農林水産技術会議事務局編：土地利用区分の手順と方法、農林統計協会、63-316、(1975)
- 2) 土木学会編：日本の土木地理、森北出版、15-144、(1977)
- 3) 三野与吉：地形入門、古今書院、130-193、(1961)
- 4) 岡山俊雄：日本の山地地形、古今書院、43-140、(1974)
- 5) 中野尊正：日本の地形、築地書館、320-362、(1967)
- 6) 中野尊正・吉川虎雄：地形調査法、古今書院、6-61、(1951)
- 7) 渡辺光：新版地形学、古今書院、78-115、(1975)
- 8) 福井英一郎編：自然地理学Ⅲ、朝倉書店、94-162、(1967)
- 9) 大島卓司：日本林業への提言、農林出版、11-19、(1972)
- 10) 佐藤敬二・佐藤大七郎他：造林学、朝倉書店、27-49、(1965)
- 11) 上飯坂実・渋谷欣治他：林業土木学、朝倉書店、2-10、(1974)
- 12) 片岡秀夫：林業工学、日本林業調査会、17-24、(1980)
- 13) 山脇三平・大里正一他：林業機械学、朝倉書店、1-15、(1980)
- 14) 森林利用研究会編：山岳林における伐出技術と林道、森林利用研究会資料NO.11、2-4、(1984)
- 15) 沢野亮一：地形計測法、自然地理学調査法(三野与吉編、朝倉書店)、360-367、(1959)
- 16) 多田文男：地形計測法、自然地理学地形編(井上修次他、古今書院)、270-301、(1940)
- 17) 木立正嗣：林業技術者のための地形、日本林業技術協会、105-118、(1973)
- 18) 中野尊正編：地図学、朝倉書店、171-187、(1967)
- 19) 西村蹊二：地図の語、日本林業技術協会、21-63、(1977)

- 20) Doornkamp, J. C. and King, C. A. M. : Numerical analysis in geomorphology. Edward Arnold Ltd., 113-181, (1972)
- 21) Miller, R. L. and Kahn, J. S. : Statistical analysis in the geological science. John Wiley and Sons Inc., 390-439, (1962)
- 22) Davis, J. C. : Statistics and data analysis in geology, John Wiley and Sons Inc., 299-411, (1973)
- 23) Chorley, R. J. : Spatial analysis in geomorphology. Methuen and Co. Ltd., 221-309, (1972)
- 24) Penck, A. : Morphologie der Erdoberfläche, Bd. I, II, Stuttgart, (1894)
- 25) Horton, R. E. : Drainage basin characteristics, Trans. Amer. Geophys. Union, 13, 350-361, (1932)
- 26) ——— : Erosional development of streams and their drainage basins, Bull. Geol. Soc. Amer., 56, 275-370, (1945)
- 27) Strahler, A. N. : Quantitative slope analysis, Bull. Geol. Soc. Amer., 67, 571-596, (1956)
- 28) ——— : Quantitative analysis of watershed geomorphology, Trans. Amer. Geophys. Union, 38, 913-920, (1957)
- 29) ——— : Physical geography, John Wiley and Sons Inc., 520-536, (1960)
- 30) Prey, A. : Darstellung der Höhen- und Tiefenverhältnisse der Erde durch eine Entwicklung nach Kugelfunctionen bis zur 16 Ordnung, Math. Phys. Kl., N. F., 11, 1-29, (1922)
- 31) 坂口 豊 : 日本島の地形発達について, 地理評, 37, 387-390, (1964)
- 32) ——— : 流域の発達と日本島流域の特性, 地理評, 38, 74-91, (1965)
- 33) Hatano, S. : Some geomorphic studies of East Ongul Island, Landform classification and morphometry, Antarctic Rec., No. 11, 737-746, (1961)
- 34) 柏谷 健二・平野 昌繁 : 山腹崩壊と地形特性に関して, 京大防災研年報, 19号, B-1, 371-383, (1976)
- 35) 平野 昌繁 : HRTダイヤグラムによる侵蝕度の量的表現, 地理評, 44, 628-637, (1971)

- 36) 上飯坂実：森林利用学序説、地球社、59-60、(1975)
- 37) Szeless, S. : Die Einflüsse des Terrains auf die Holzernte, Proc. Meet. Sec. 32, IUFRO, 321-326, (1964)
- 38) Steinlin, H. : Der Einfluss des Geländes auf die Holzernte, Proc. Meet. Sec. 32, IUFRO, 85-96, (1964)
- 39) Asthåna, M. N. : Terrain Classification in Logging, Proc. Meet. Sec. 32, IUFRO, 327-332, (1964)
- 40) Putkisto, K. : Principle of Terrain Classification for Logging, Proc. Meet. Sec. 32, IUFRO, 98-116, (1964)
- 41) Kaje, L. : A Mathematical Description of Altitude Variation in Terrain and its Significance, Proc. Meet. Sec. 32, IUFRO, 118-138, (1964)
- 42) Strømnes, R. : Terrain Classification in a Forest District, Proc. Meet. Sec. 32, IUFRO, 139-148, (1964)
- 43) Fuchs, A. : Contributions à l'établissement de l'influence relative des éléments de relief et de végétation, sur la productivité du travail dans certaines opérations d'exploitations forestières, Proc. Meet. Sec. 32, IUFRO, 149-155, (1964)
- 44) von Bergen, L. : The Influence of Ground Conditions on the Planning of Year-Round Logging Operations, Proc. Meet. Sec. 32, IUFRO, 158-193, (1964)
- 45) von Segebaden, G. : Method for the Collection and Processing of Data on Logging Factors at the Swedish National Forest Survey, Proc. Meet. Sec. 32, IUFRO, 195-211, (1964)
- 46) Vik, T. : Classification of Terrain by the Norwegian Forest Survey, Proc. Meet. Sec. 32, IUFRO, 213-235, (1964)
- 47) 上飯坂実編：林業工学入門、地球社、178-180、(1984)
- 48) 堀高夫：集運材地域の平均傾斜判定法、日林誌、47、337-341、(1965)
- 49) ————：路網計画のための図上地形判定について、日林誌、47、168-170、(1965)
- 50) ————：集運材地域の平均傾斜判定法(Ⅱ)、日林誌、50、231-237、(1968)
- 51) ————：車や林内不整地を走行する際に遭遇する地表障害物の出現頻度に関する考察、日林誌、52、58-61、(1970)

- 52) 井上源基 : シュミレーションによる林内のトラ
クタ集材路網、日林論、90、501-502、(1979)
- 53) : シュミレーションによる林内のトラ
クタ集材路網(II)、日林論、91、461-463、(1980)
- 54) 小林洋司 : 林道路面特性の把握法に関する検討
、日林論、91、453-454、(1980)
- 55) 小橋澄治・中山政一他 : 地すべり・崩壊・土石
流、鹿島出版会、323-334、(1983)
- 56) 第12回砂防学会シンポジウム概要 : 空中写真・
地形図の土砂害対策計画への応用、新砂防 NO.115
、Vol 32、NO.4、52-82、(1980)
- 57) 第15回森林保全懇話会シンポジウム概要 : 土石
流を考える、日林誌 Vol 60、NO.6、225-232、(1978)
- 58) 高山茂美 : 河川地形、共立出版、4-72、(1974)
- 59) 日浦啓全 : 表層崩壊の発生と生産土砂量の予測
に関する研究、京大博士論文、9-31、(1983)
- 60) 村井俊治・篠田徹也 : デジタルテレインモデ
ルとデジタルフォトマップの手法に関する研
究、写真測量、13、1-7、(1974)
- 61) 丸安隆和・村井俊治 : 土木設計システムにおけ
る地形情報処理、土木学会誌、55、(1970)
- 62) Hallmen, B. : Digital Terrain Models, Soci. Photogrammetry,
(1968)
- 63) Hannah, M. J. : Error detection and correction in digital
terrain models, Photogrammetric Engineering and Remote Se-
nsing、47、63-69、(1981)
- 64) Collins, S. H. : Algorithms for dense digital terrain models,
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing、47、71-76、
(1981)
- 65) Petrie, G. : Hardware aspects of digital mapping, Photogramme-
tric Engineering and Remote Sensing、47、307-320、
(1981)
- 66) Connolly, D. S. : The Coding and Storage of Terrain Height
Data, M. Sc. Thesis, Cornell University、(1968)
- 67) Goldberg, G. M. : The derivation of quantitative surface
data from gross sources, Surveying and Mapping、22、
537-548、(1962)
- 68) 木平勇吉 : 地形解析 - 数値地形図の作成と応用
、信大林学演習(II)、1-29、(1976)

- 69) 北川 勝弘 : 数値地形モデルによる傾斜因子推定の精度、日林誌、58、202-213、(1976)
- 70) 平野昌繁 : 多目的データベースとしての六甲山地のディジタルマップの作成、情報地質、3、33-43、(1977)
- 71) Wilson, A.G. : The Use of Analogies in Geography, Geog. Analysis, 1, 225-233, (1969)
- 72) Stow, D.A. : Landsat and digital terrain data for county-level resource management, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 47, 215-222, (1981)
- 73) Freiburger, W. and Grenander, V. : Surface pattern in theoretical geography, Computer and Geosciences, 3, 547-578, (1977)
- 74) 奥野隆史・鈴木栄一 : 定量的地域区分法とその適用、青山経済論集、24、39-63、(1973)
- 75) 奥野忠一・芳賀敏郎他 : 競多変量解析法、日科技連、(1976)
- 76) Cole, J.P. and King, C.A.M. : Quantitative Geography, Techniques and Theories in Geography, John Wiley and Sons Inc., (1968)
- 77) Yeates, M.H. : An Introduction to Quantitative Analysis in Economic Geography, McGraw-Hill, (1968)
- 78) Curry, L. : Quantitative Geography, Canadian Geographer, 11, 265-279, (1967)
- 79) Gvclke, L. : Problems of Scientific Explanation in Geography, Canadian Geographer, 15, 38-53, (1971)
- 80) Sack, R.D. : Geography, Geometry, and Explanation, Annals, A.A.G., 62, 61-78, (1972)
- 81) Agterberg, F.P. : Autocorrelation function in geology, Geostatistics, 113-141, (1970)
- 82) Koch, G.S. and Link, R.F. : Statistical analysis of geological data, John Wiley and Sons Inc., 438-452, (1971)
- 83) Berry, B.J.L. and Marble, D.F. : Spatial Analysis; A Reader in Statistical Geography, Prentice-Hall, 503-514, (1968)
- 84) Krumbein, W.C. and Graybill, F.A. : An Introduction to Statistical Models in Geology, McGraw-Hill, 452-480, (1965)
- 85) 芝正己・佐々木功他 : 地形解析に対するスペクトル概念の応用(VII)、日林関西支部論文集、337-341、(1980)

- 86) Harbaugh, J.W. and Preston, F.W. : Fourier series analysis in geology. Symposium on Computers and Computer application in mining and exploration. Univ. of Arizona, Tucson, 15-19. (1965)
- 87) _____ : BALGOL programs and geologic application for single and double Fourier series using IBM 7090/7094 computers. Kansas Geol. Survey Spec. Dist. Pub., 24, 1-68. (1965)
- 88) Harbaugh, J.W. and Merriam, D.F. : Computer applications in stratigraphic analysis. John Wiley and Sons Inc., 53-206. (1968)
- 89) Harbaugh, J.W. : Mathematical simulation of marine sedimentation with IBM 7090/7094 computers. Kansas Geol. Survey Computer Contr., 1, 1-51. (1966)
- 90) Griffiths, J.C. : Measurement of the properties of sediment Jour. Geol., 69, 487-498. (1961)
- 91) _____ : A genetic model for the interpretive petrology of detrital sediments. Jour. Geol., 74, 655-672. (1966)
- 92) Merriam, D.F. : Geology and the computer. New Scientist, 26, 513-516. (1965)
- 93) _____ : Computer aids exploration geologists. Oil and Gas Jour., 65, 118-121. (1967)
- 94) Merriam, D.F. and Harbaugh, J.W. : Computer helps map oil structures. Oil and Gas Jour., 61, 158-163. (1963)
- 95) Merriam, D.F. and Lippert, R.H. : Pattern recognition studies of geologic structure using trend-surface analysis. Quarterly Colorado Sch. Mines, 59, 237-245. (1964)
- 96) Merriam, D.F. : Symposium on computer application in petroleum exploration. Kansas Geol. Survey Computer Contr., 40, 1-40. (1970)
- 97) Whitten, E.H.T. : Application of quantitative methods in the geochemical study of granitic massifs. Roy. Soc. Canada Sp. Publ., 75-123. (1963)
- 98) _____ : Quantitative areal model analysis of granitic complexes. Geol. Soc. Amer. Bull., 72, 1331-1359. (1961)

- 99) _____: Sequential multivariate regression methods and scalars in the study of fold-geometry variability. Jour. Geol., 74, 744-763, (1966)
- 100) Agterberg, F.P.: Methods of trend surface analysis, Quarterly Colorado Sch. Mines, 59(4), 111-130, (1964)
- 101) _____: Statistical techniques for geological data, Tectorophysics, 1(3), 233-255, (1964)
- 102) Curaray, J.: The analysis of two-dimensional orientation data, Jour. Geol., 64(2), 117-131, (1956)
- 103) Jaeger, R.M. and Schuring, D.J.: Spectrum analysis of terrain of Mare Cognitum, Jour. Geophys. Res., 71(8), 2033-2038, (1966)
- 104) Johnson, G.G. and Vand, V.: Application of a Fourier data smoothing technique to the meteoritic crater Ries Kessel, Jour. Geophys. Res., 72(6), 1741-1750, (1967)
- 105) Barton, B. and Tobler, W.: A spectral analysis of innovation diffusion, Geog. Analysis, 3, 182-186, (1971)
- 106) Bassett, K. and Chorley, R.J.: An experiment in terrain filtering, Area, 3(2), 17-21, (1971)
- 107) Bryson, R.A. and Dutton, J.A.: The variance spectra of certain natural series, Quantitative Geogr., 2, 1-24, (1967)
- 108) Blalock, H.M. Jr.: Correlation and causality in the multivariate case, Social Forces, 39, 246-251, (1961)
- 109) Whitten, E.H.T.: FORTRAN IV CDC 6400 computer program to analyze subsurface fold geometry, Kansas Geol. Survey Computer Contr., 25, 1-45, (1968)
- 110) Rayner, J.N.: Correlation between surface by spectral methods, Kansas Geol. Survey Computer Contr., 12, 31-37, (1967)
- 111) Sampson, R.J. and Davis, J.C.: Three-dimensional response surface program in FORTRAN II for the IBM 1620 computer, Kansas Geol. Survey Computer Contr., 10, 1-19, (1967)
- 112) Koch, G.S.: A simulation of ghost stratigraphy, Kansas Geol. Survey Computer Contr., 12, 22-25, (1967)
- 113) Krumbein, W.C.: FORTRAN IV computer program for simulation of transgression and regression with continuous-time Markov models, Kansas Geol. Survey Computer Contr., 26, 1-37, (1968)

- 114) Esler, J. E. E. and Preston, F. W. : FORTRAN IV program for the GE 625 to compute the power spectrum of geological surfaces. Kansas Geol. Survey Computer Contr., 16, 1-22, (1967)
- 115) 坂牧和博・山本嘉一郎他：地質学におけるデータ解析、石油技術協会誌、41(4)、10-18、(1976)
- 116) 西脇ニ一・山本嘉一郎：地質学における統計パッケージ・プログラムの利用とこれによる砂岩組成の因子分析、地学雑誌、84(6)、317-335、(1975)
- 117) 山本嘉一郎：ライブラリ・プログラムの紹介(23)、京都大学大型計算機センター広報、7(4)、186-193、(1974)
- 118) 山本嘉一郎・西脇ニ一：ライブラリ・プログラムの紹介(26)、京都大学大型計算機センター広報、18(3)、121-134、(1975)
- 119) Yamamoto, K. : Computer applications in Geology, M. Sc. Thesis, Dept. of Geol. and Mine., Kyoto University, (1972)
- 120) _____ : 地質パッケージ・プログラム、京都大学大型計算機センター広報、5、411-413、(1972)
- 121) James, W. R. : FORTRAN IV program using double Fourier series for surface fitting of irregularly spaced data, Kansas Geol. Survey Sp. Dist. Pub., 25, 1-19, (1966)
- 122) Preston, D. F. : Two dimensional power spectra for classification of land forms, Kansas Geol. Survey Computer Contr., 8, 64-68, (1967)
- 123) Hobson, R. D. : FORTRAN IV programs to determine surface roughness in topography for the CDC 3400 computer, Kansas Geol. Survey Computer Contr., 14, 1-29, (1967)
- 124) Frederiksen, P. : Terrain analysis and accuracy prediction by means of the Fourier Transformation, Photogrammetria, 36, 145-157, (1981)
- 125) Krumbein, W. C. : Trend surface analysis of contour-type maps with irregular control-point spacing, Jour. Geophys. Res., 64(7), 823-834, (1959)
- 126) _____ : The computer in geology, Science, 136, 1087-1092, (1962)

- 127) Krumbein, W. C. and Graybill, F. A. : An introduction to statistical models in geology. McGraw-Hill, 319-354. (1965)
- 128) 平野昌繁・横田修一郎 : 西南日本に例をとった電子計算機による地形数値解析、地理評、49、440-454、(1976)
- 129) 福田正己 : 調和解析の地形学への適用とその問題点、地理評、48(9)、647-648、(1975)
- 130) — : Digital Terrain モデルによる地形解析について、日本地理学会春季大会予編集、62-63、(1974)
- 131) Robinson, G. and Fairbairn, K. J. : An application of trend-surface mapping to the distribution of residuals from a regression. Annals, A. A. G., 59, 158-170. (1969)
- 132) Cerry, J. M. : Display of Trend Surfaces. Geog. Analysis, 3, 268-272. (1971)
- 133) 石水照雄 : 地域傾向面図の作成と分析、総理府統計局、地域メッシュ統計の利用解析の方法に関する研究報告、43-92、(1972)
- 134) Miller, R. L. : Trend surface, Jour. Geol., 64, 425-446. (1956)
- 135) Haggett, P. : Trend-surface mapping in the interregional comparison of intra-regional structures. The Regional Science Assoc., 20, 19-28. (1967)
- 136) Haggett, P. and Bassett, K. A. : The use of trend-surface parameters in interurban comparisons. Environment and Planning, 2, 225-237. (1970)
- 137) Haggett, P. : Regional and local components in the distribution of forested area in Southeast Brazil. Geographical Journal, 130, 365-380. (1964)
- 138) Simpson, S. M. Jr. : Least squares polynomial fitting to gravitational data density plotting by digital computers. Geophys., 19, 255-269. (1954)
- 139) Unwin, D. J. : Percentage RSS in trend surface analysis. Area, 1, 25-28. (1970)
- 140) Fox, W. T. : FORTRAN IV program for vector trend analyses of directional data. Kansas Geol. Survey Computer Contr., 11, 1-35. (1967)

- 141) Cole, A. J., Jordan, C. and Merriam, D. F. : FORTRAN II program for progressive linear fit of surfaces on a quadratic based using IBM 1620 computer, Kansas Geol. Survey Computer Contr., 15, 1-54, (1967)
- 142) O'Leary, M., Lippert, R. H. and Spitz, O. T. : FORTRAN IV and map program for computation and plotting of trend surfaces for degree 1 through 6, Kansas Geol. Survey Computer Contr., 3, 1-47, (1966)
- 143) Miesch, A. T. and Connor, J. J. : Stepwise regression and nonpolynomial models in trend analysis, Kansas Geol. Survey Computer Contr., 27, 1-39, (1968)
- 144) Merriam, D. F. and Harbaugh, J. W. : Trend-surface analysis of regional and residual components of geologic structure in Kansas, Kansas Geol. Survey Spec. Dist. Pub. 11, 1-27, (1964)
- 145) 山本 嘉一郎 : 電算機による Trend Surface Analysis とその使用例、地学雑誌、79(5)、349-362、(1973)
- 146) 磯部 邦昭・武田 通治 : 電算機による関東山地東部の地形数値解析、日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要、13、1-29、(1978)

第2章 地形断面の特性評価とパワースペクトルによる諸統計量の推定

2.1 コレログラムの相関特性による地形断面の起伏特性の評価

2.1.1 自己相関関数とコレログラム⁽¹⁻⁵⁾

断面曲線 $f(x)$ の近傍の2点間には変動量としてかなり高い相関があるが、この間隔が大きくなるにつれて相関性は失われる。そこで、2点間の間隔をパラメータとして相関そのものが変化する様子から $f(x)$ の特性を知る事ができる。

自己相関関数 (Autocorrelation function) は、 T 距離隔たった2つの変動の積の平均値

$$C(x, T) = E[f(x) \cdot f(x+T)] \quad (2.1)$$

で定義される統計的関数で、隔たり距離 T が lag である。この平均操作はアンサンブル平均であるが、定常確率過程ではこれを (2.2) 式の様に距離平均で置き換える。測点 x には無関係で lag T のみの関数となる。

$$\begin{aligned} C(x, T) &= \overline{f(x) \cdot f(x+T)} \\ &= \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \int_{-N/2}^{N/2} f(x) \cdot f(x+T) dx \end{aligned} \quad (2.2)$$

$C(T)$ を $T=0$ の値 $C(0)$ で割って正規化すると、自己相関係数 $R(T)$ が (2.3) 式として得られ、この $R(T)$ を lag に対してプロットしたものがコレログラム (Correlogram) である。

$$\begin{aligned} R(T) &= C(T) / C(0) \\ &= \overline{f(x) \cdot f(x+T)} / \overline{f^2(x)} \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$R(0) = 1 \quad (2.4)$$

図 2.1 は、自己相関関数 $C(T)$ の理論的推定法の block 線図を示す。

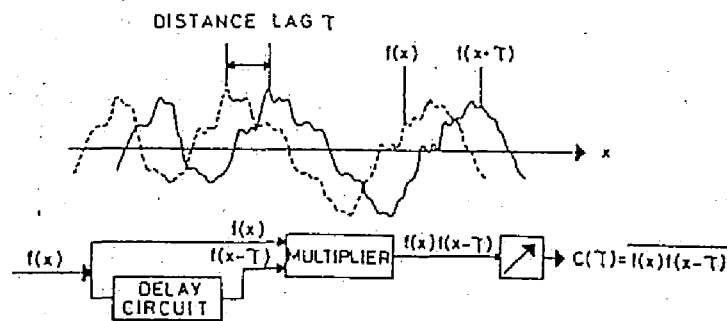


FIGURE 2.1 DIAGRAMMATIC REPRESENTATION OF THEORETICAL SYSTEM FOR PRODUCING AUTOCORRELATION FUNCTION OF TIME SERIES.

2.1.2 $1/5$ 万地形図を用いた解析事例⁶⁾⁻¹⁰⁾

国土地理院発行の $1/5$ 万地形図から、地形断面の基準面が $250 \sim 1000$ m 程度の一般的な山地地形を呈する地域 11 箇所を任意に選定し (図 2.2)、断面線は各地形図上に半径 15 cm の円を描き、この中心を通過する 4 方位 (N01: N-S、N02: NE-SW、N03: E-W、N04: SE-NW) について全長 15 km (図上: 30 cm) で設定した。判読は、この断面線上を 50 m (図上: 1 mm) 間隔で標高を読んで $f(x)$ とした。

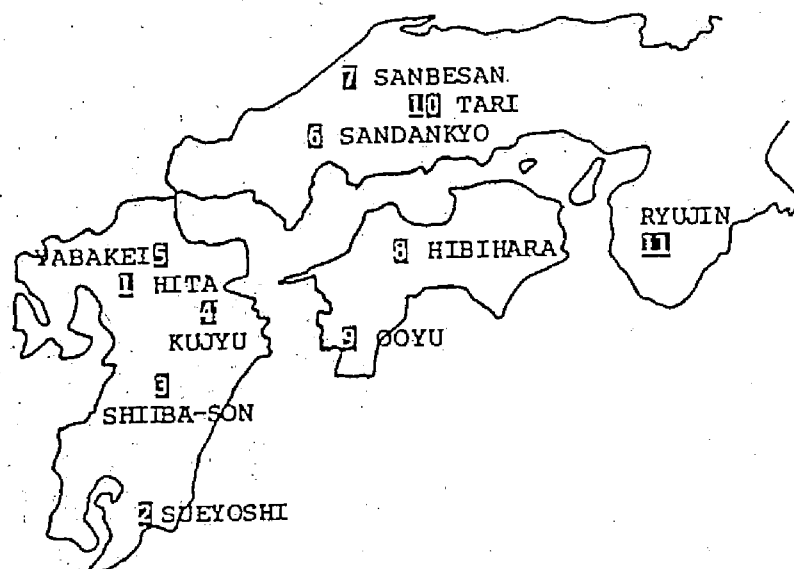
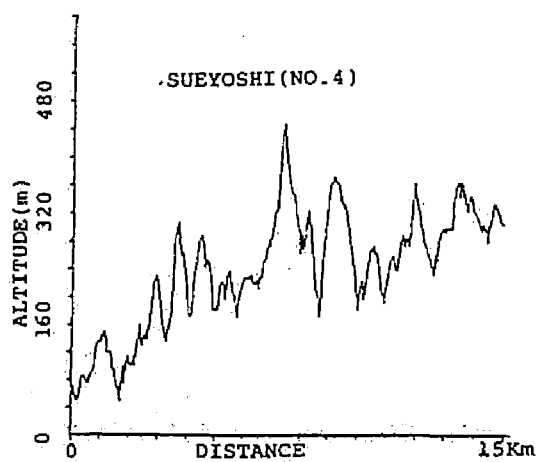
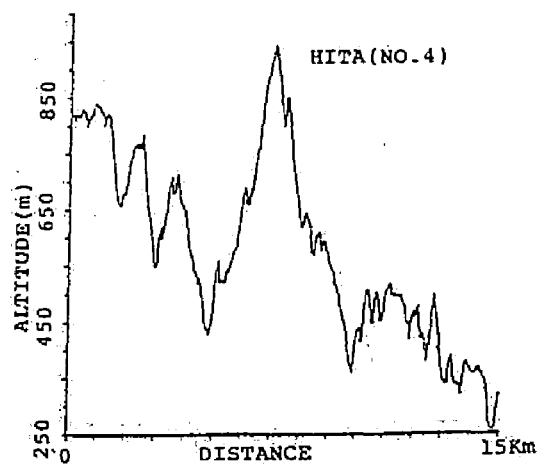
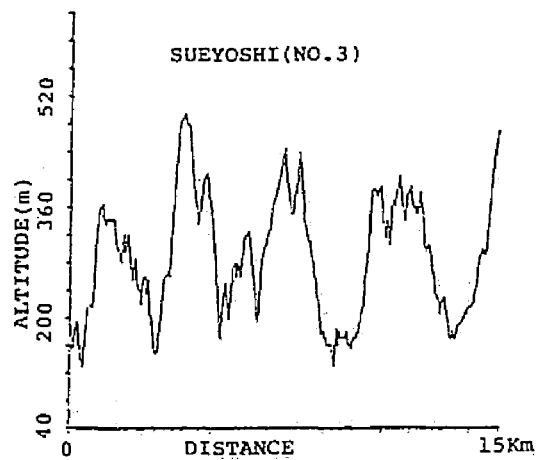
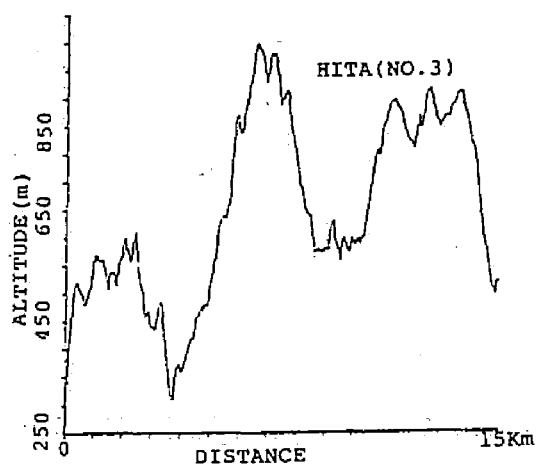
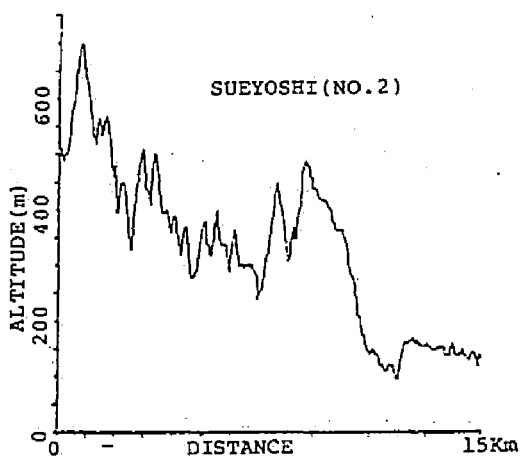
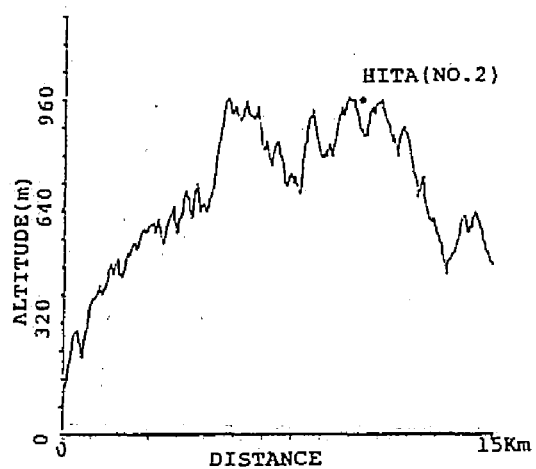
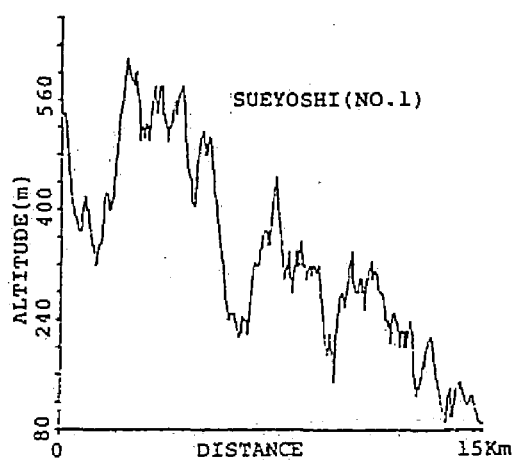
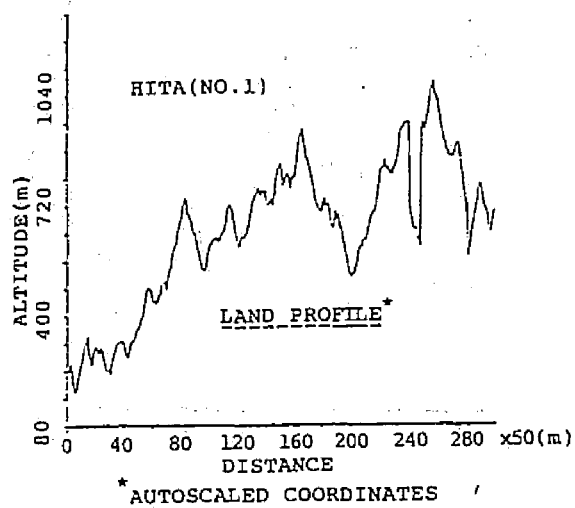
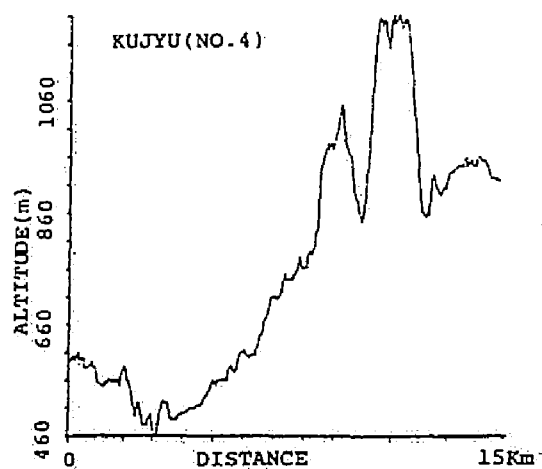
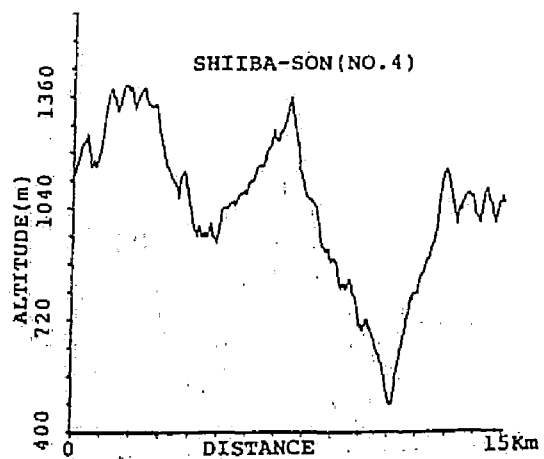
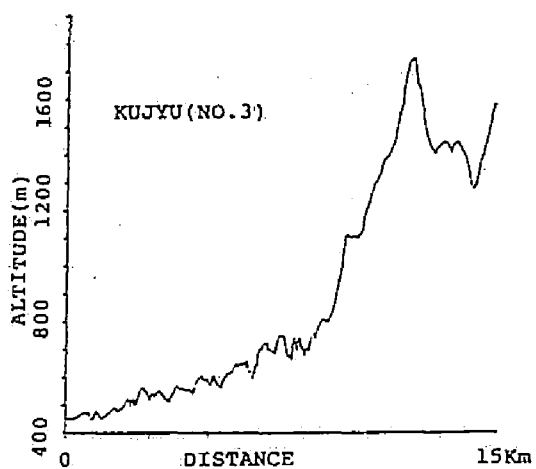
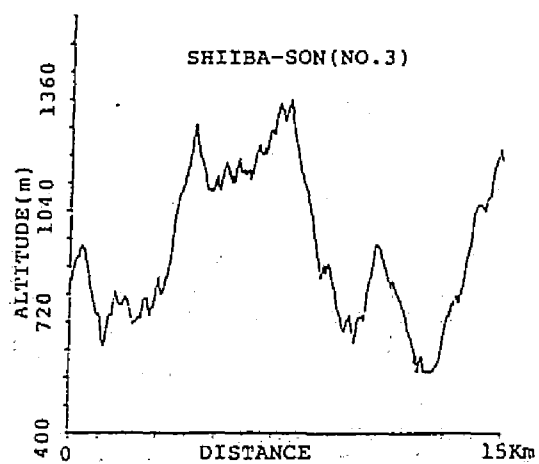
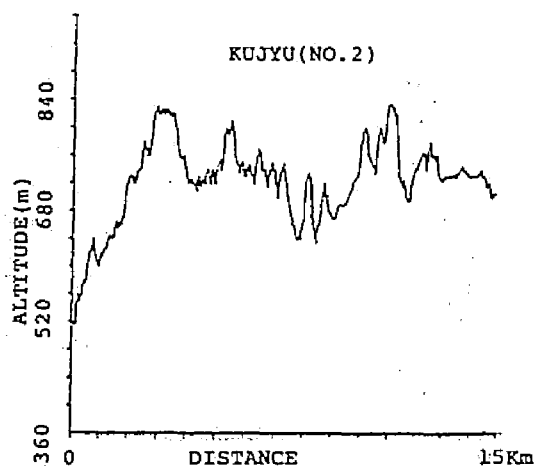
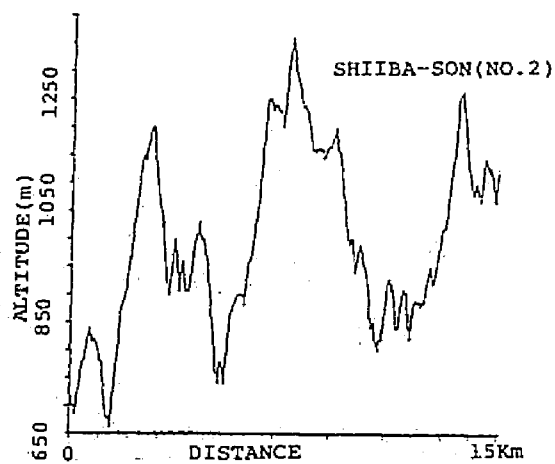
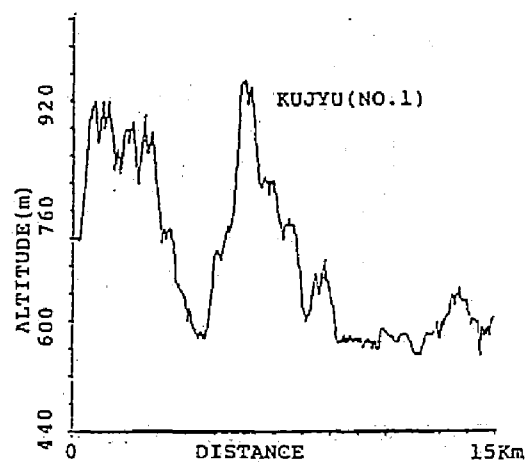
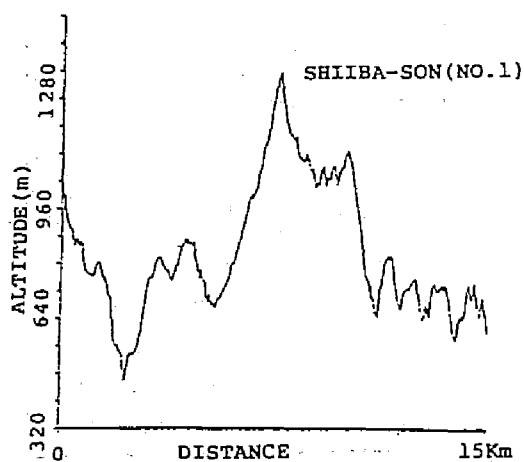
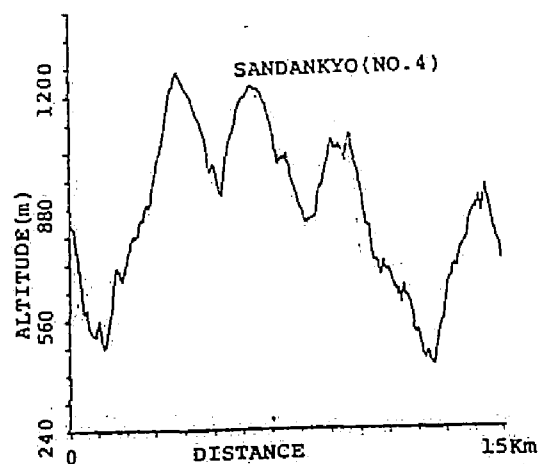
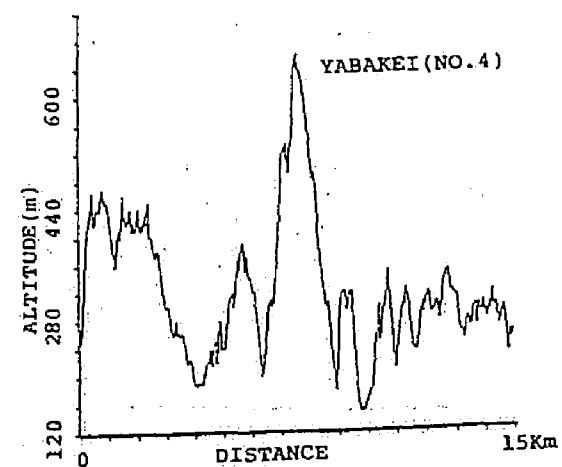
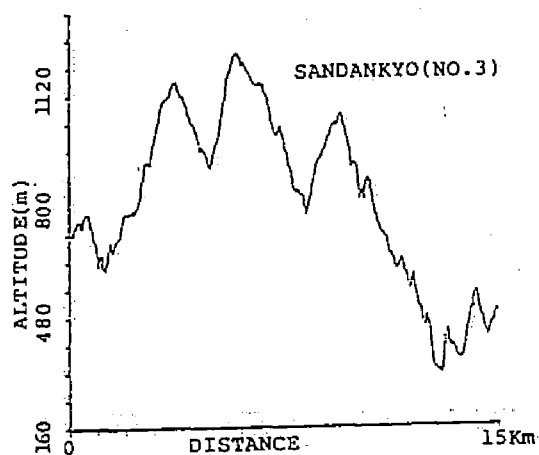
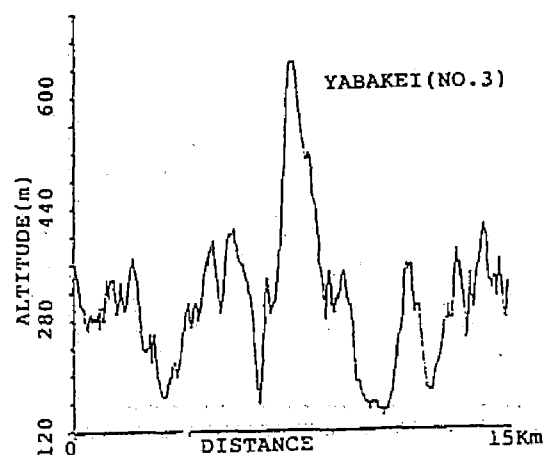
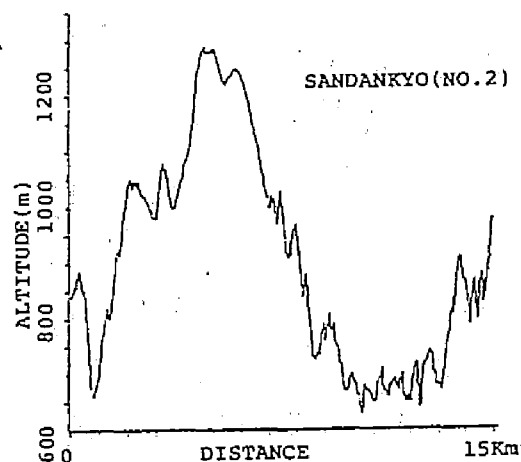
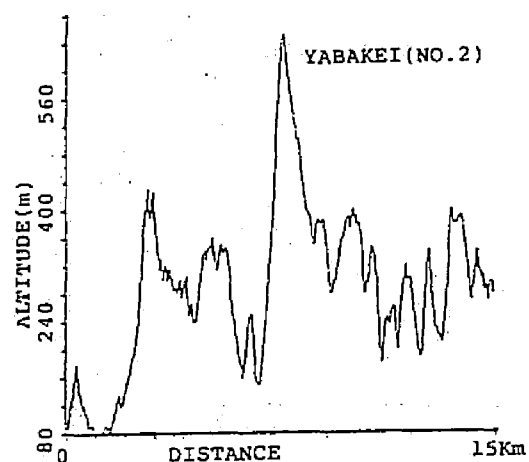
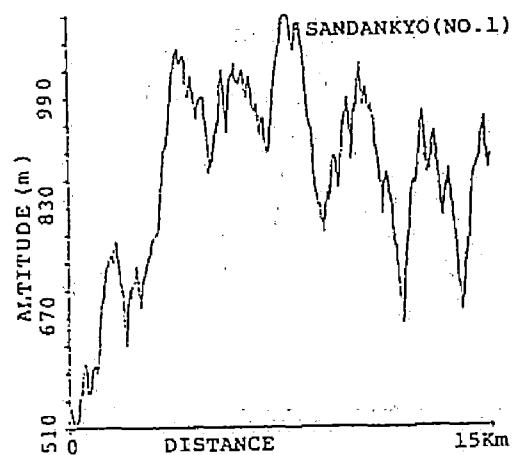
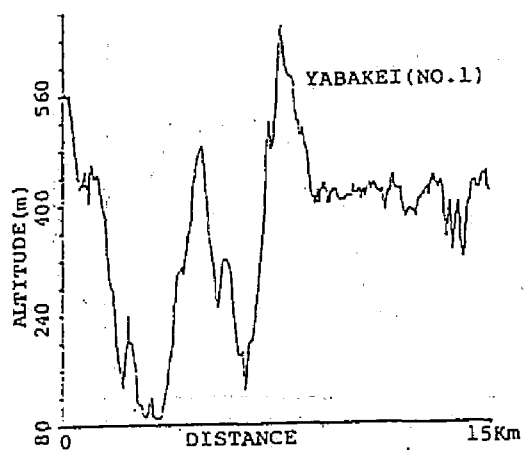
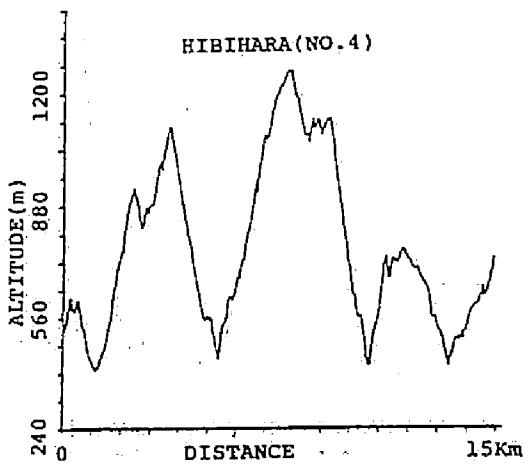
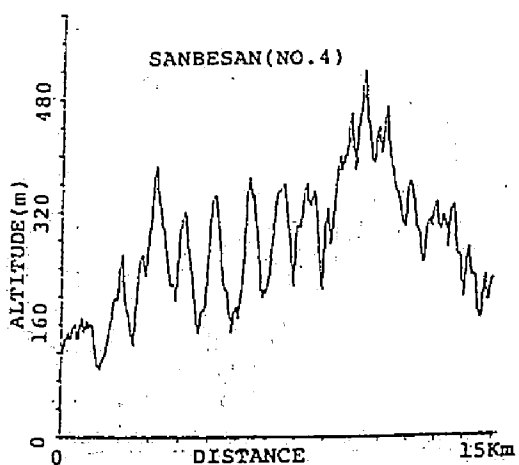
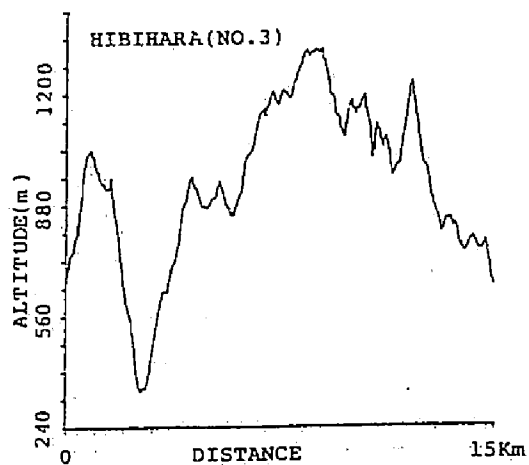
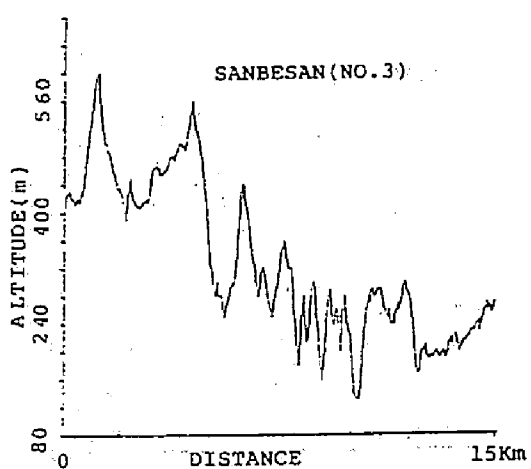
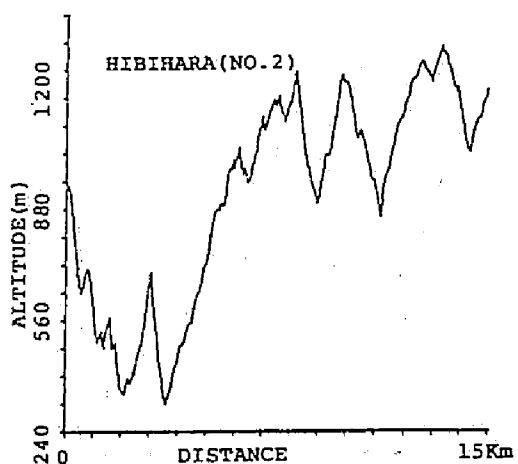
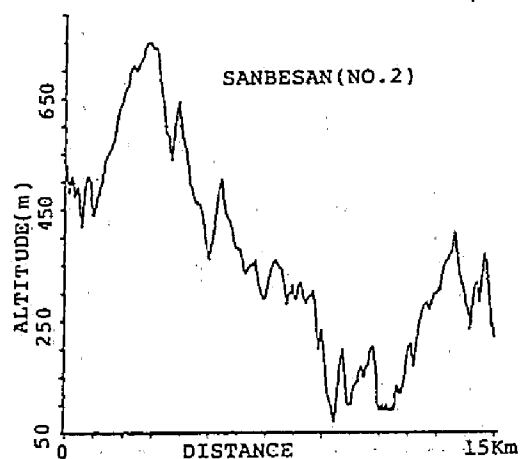
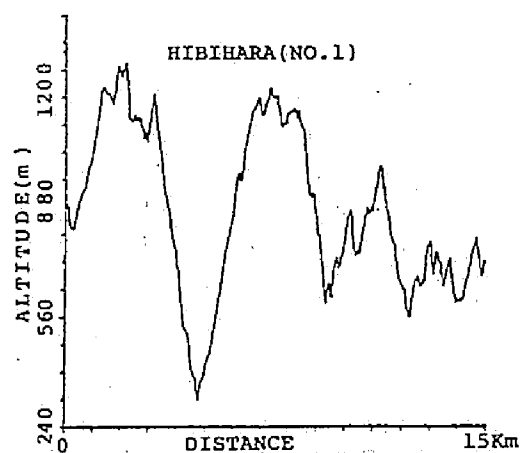
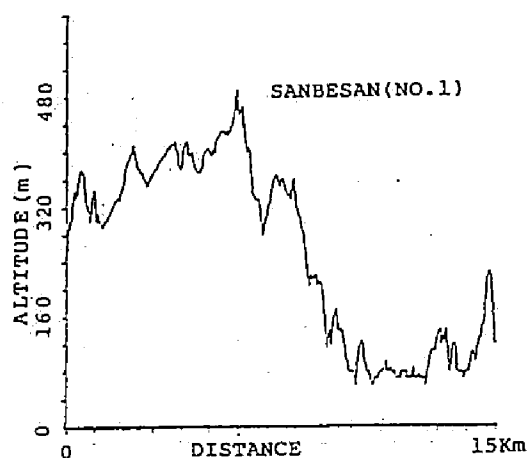


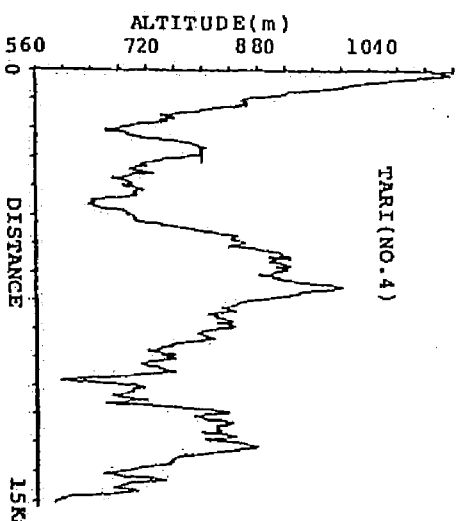
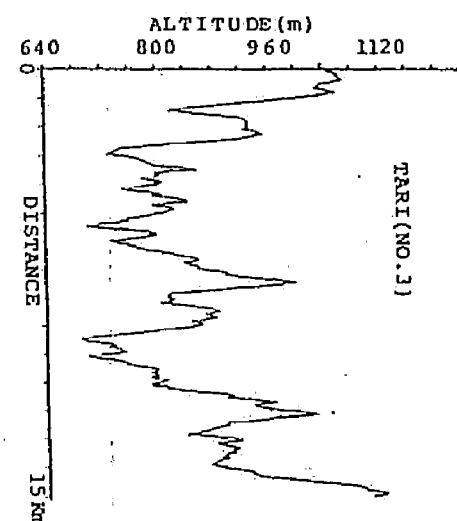
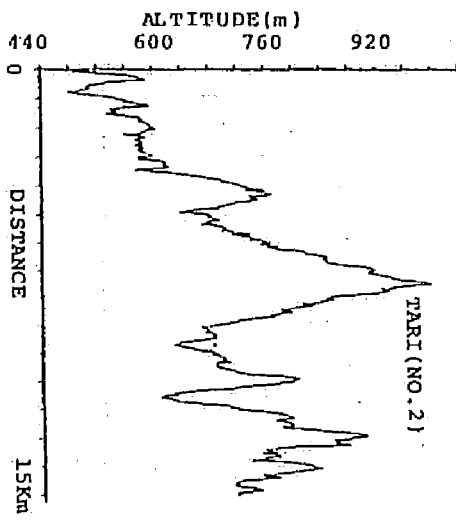
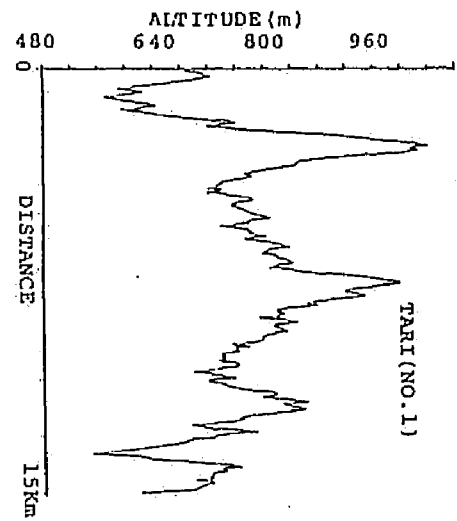
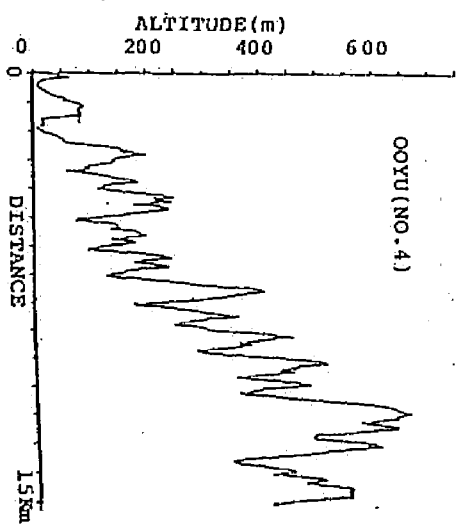
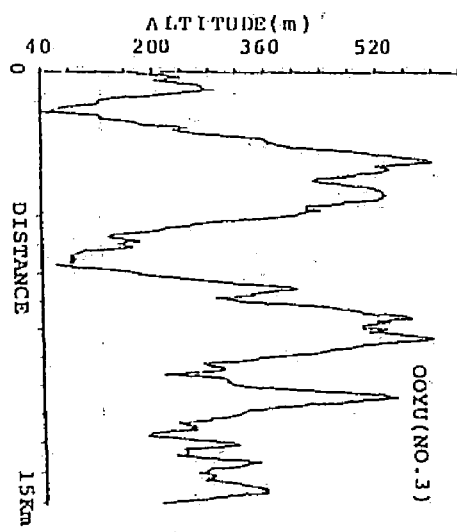
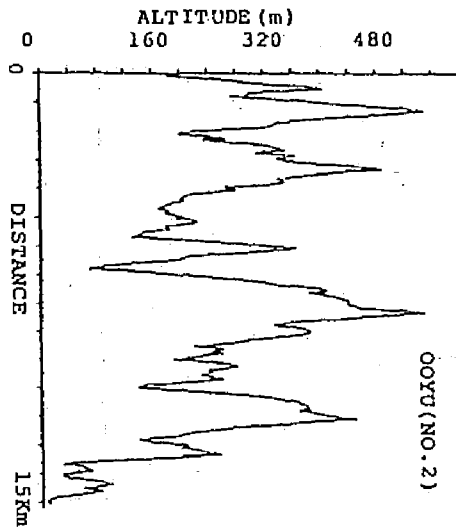
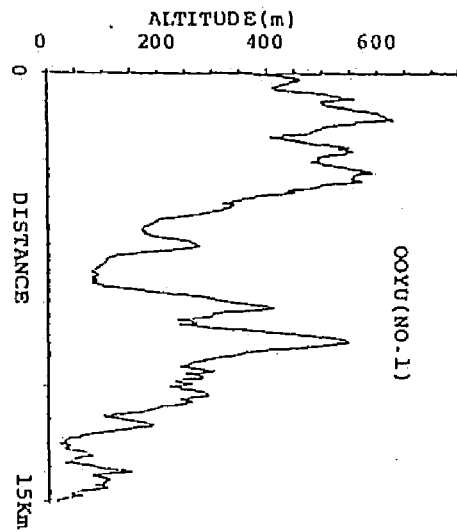
FIGURE 2.2 INDEX MAP SHOWING LOCATION OF TEST AREA USED FOR SPECTRAL ANALYSIS OF LAND SURFACE.











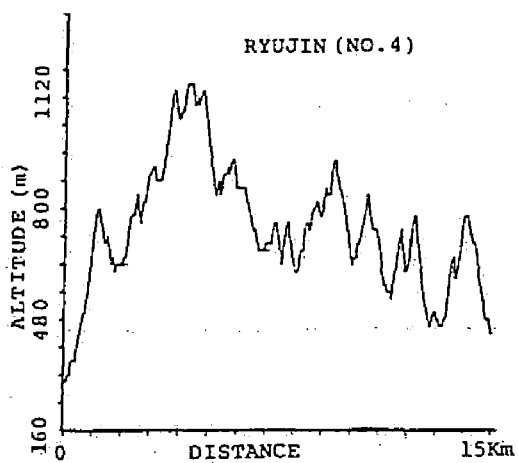
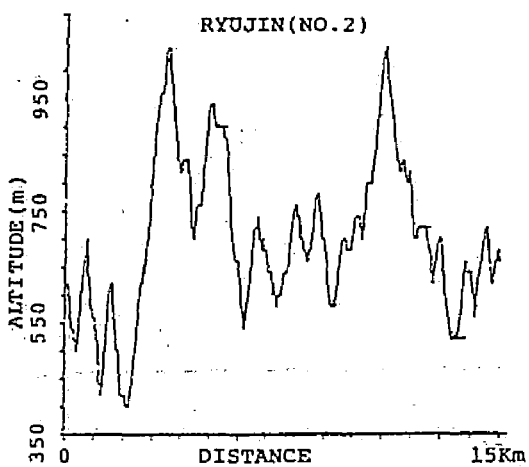
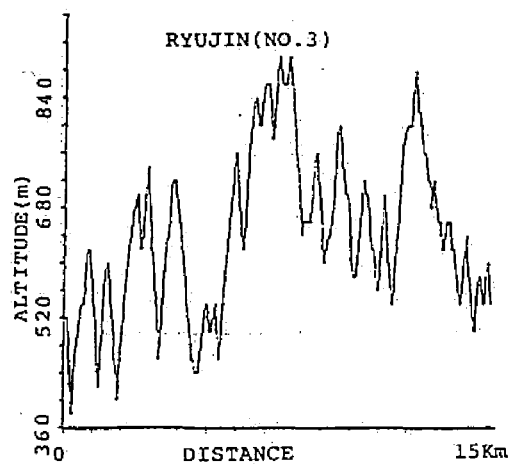
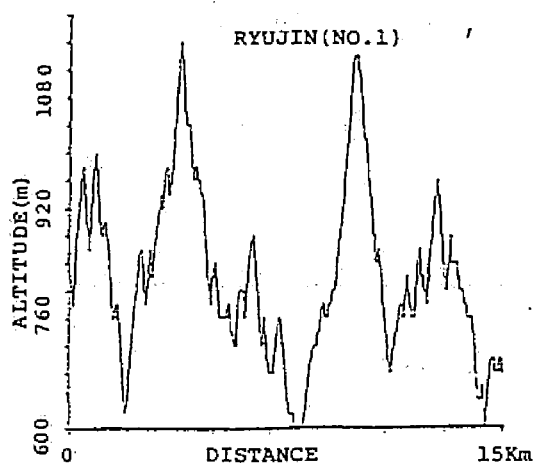
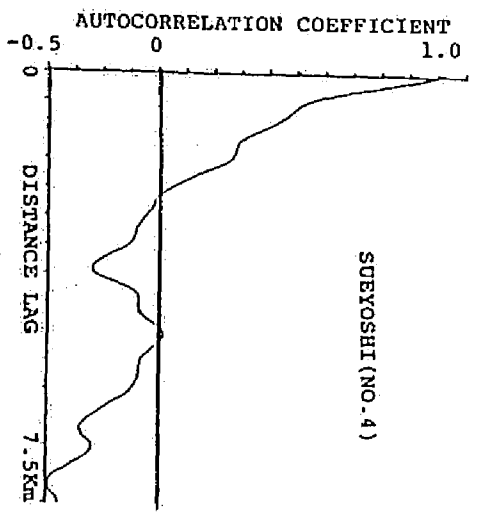
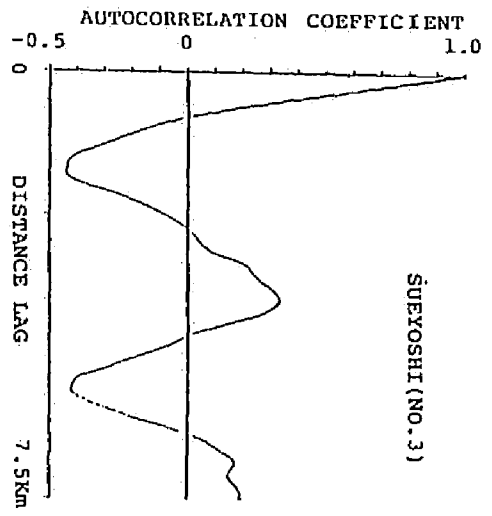
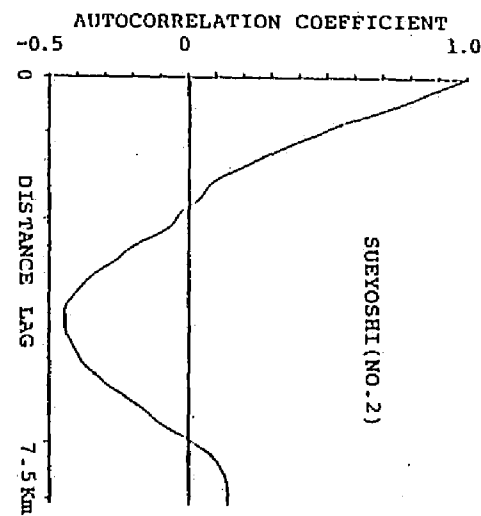
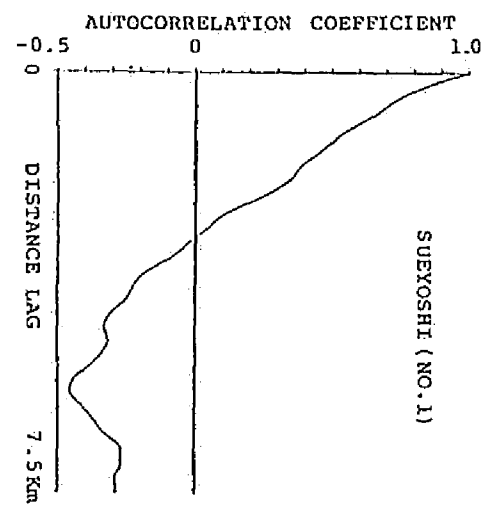
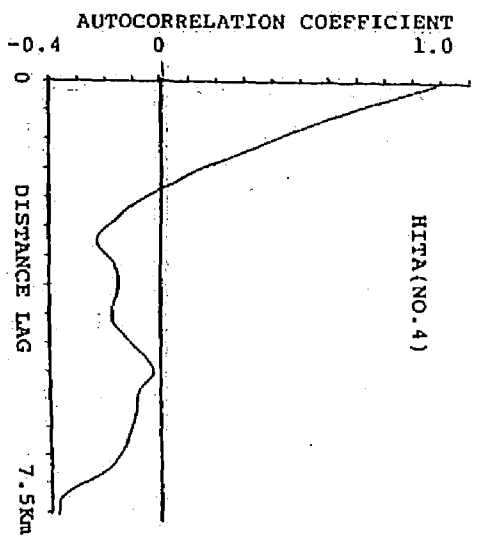
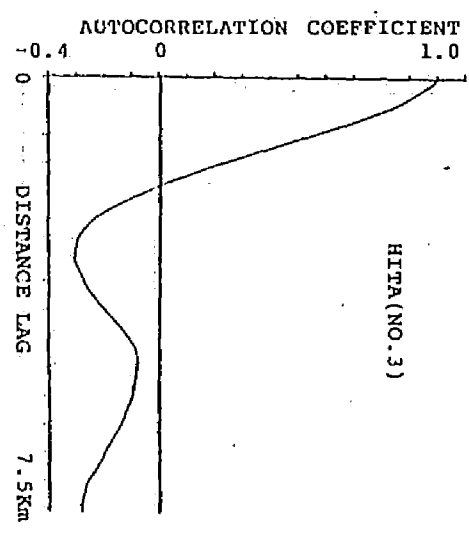
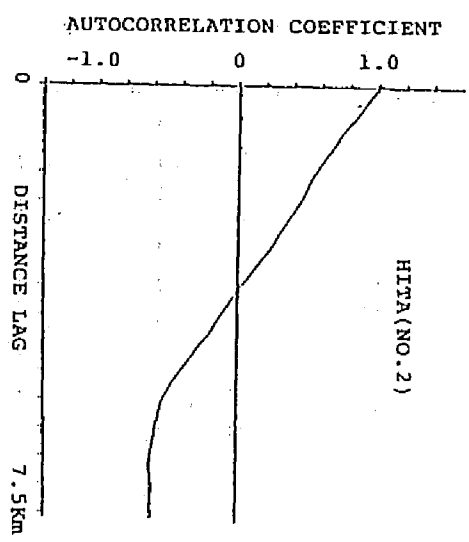
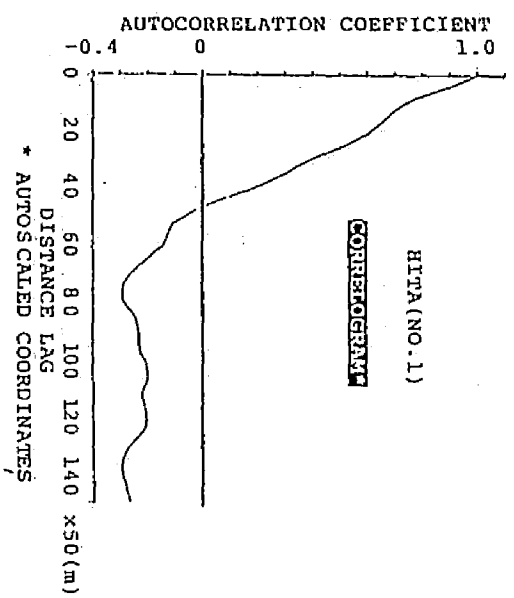
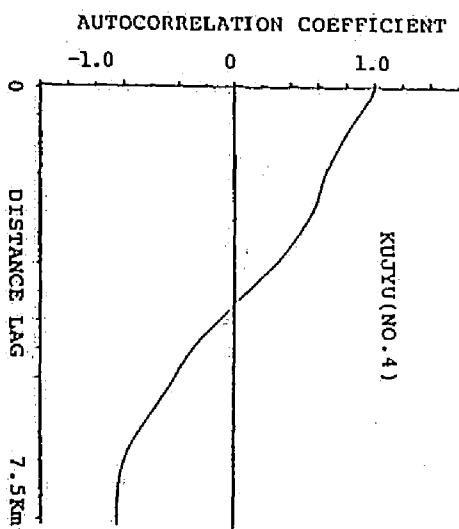
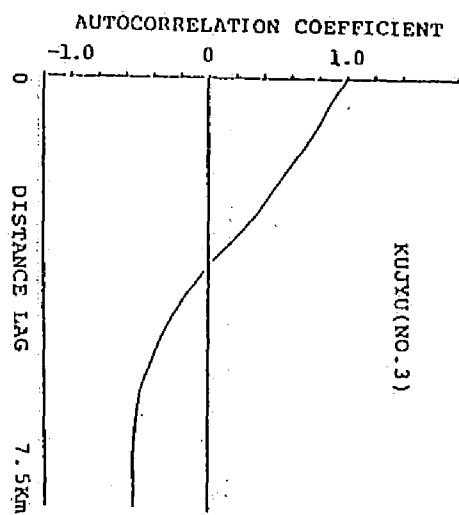
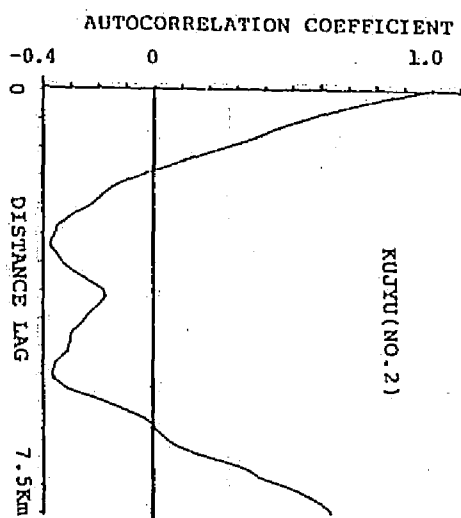
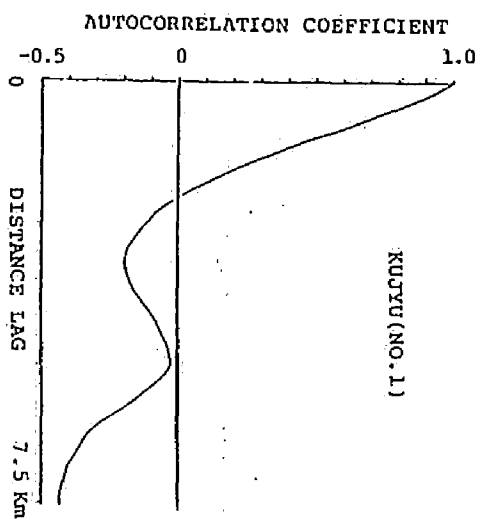
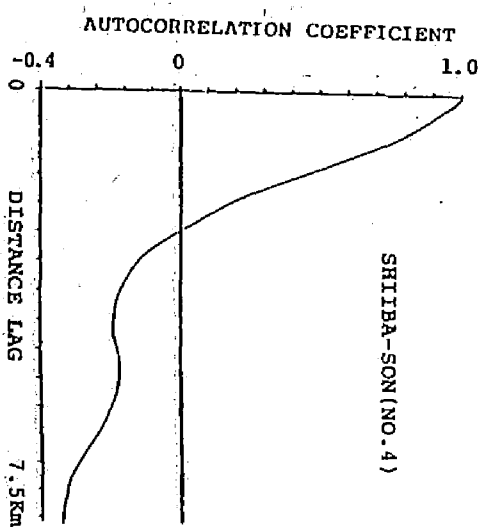
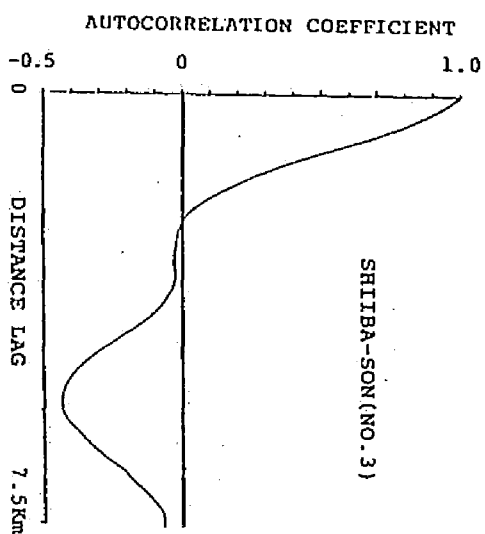
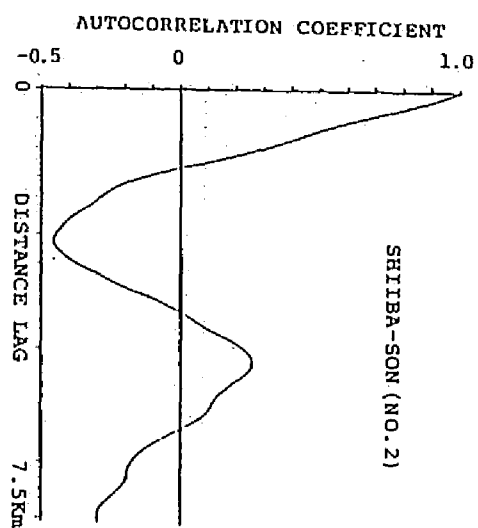
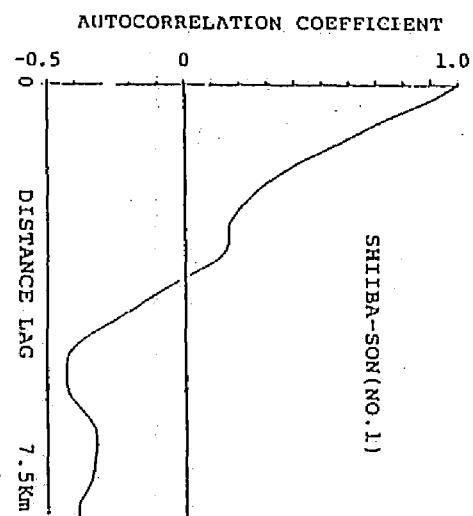
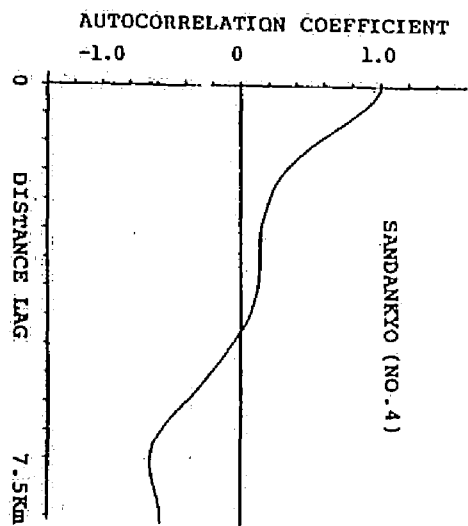
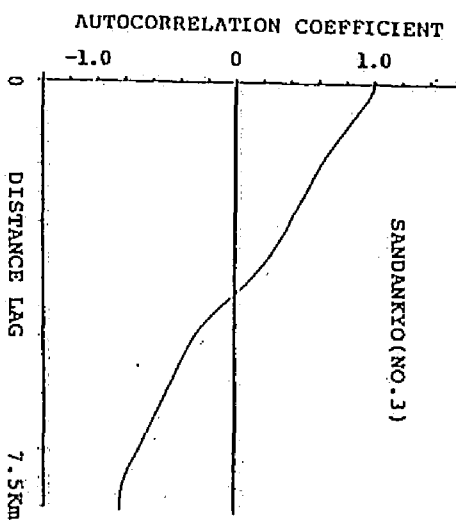
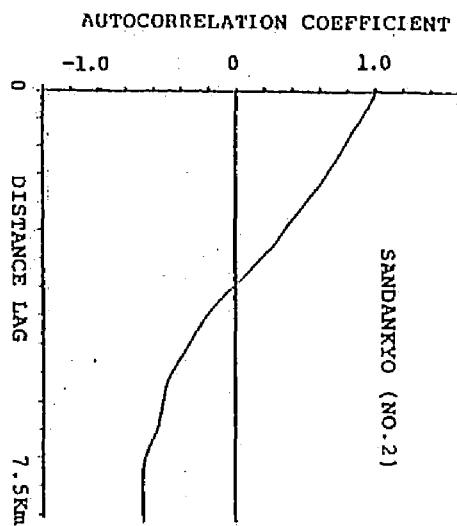
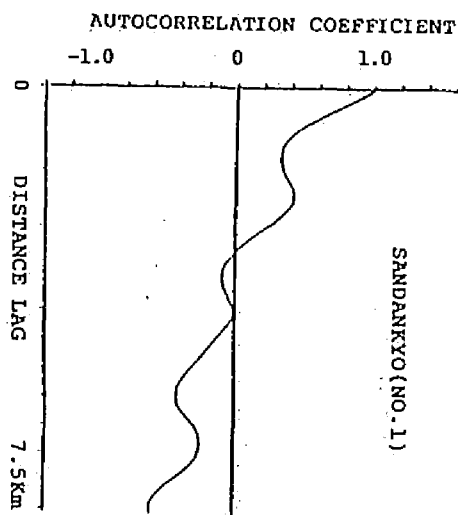
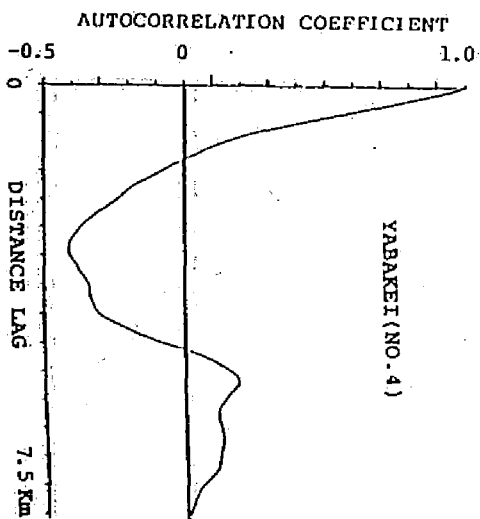
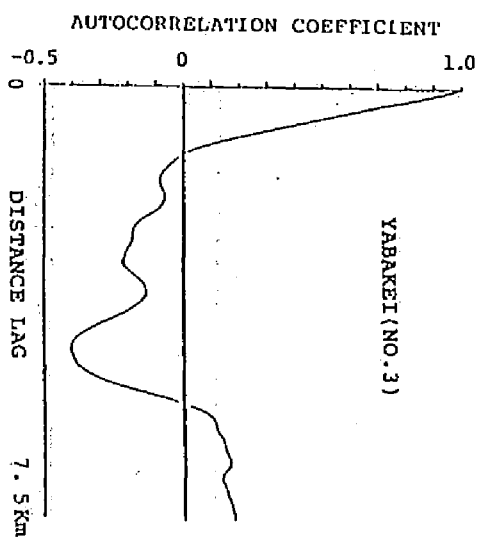
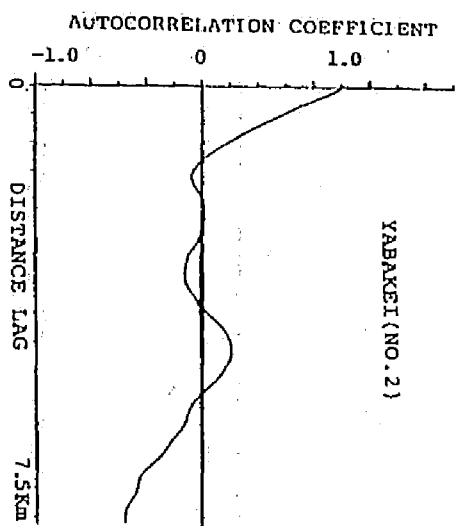
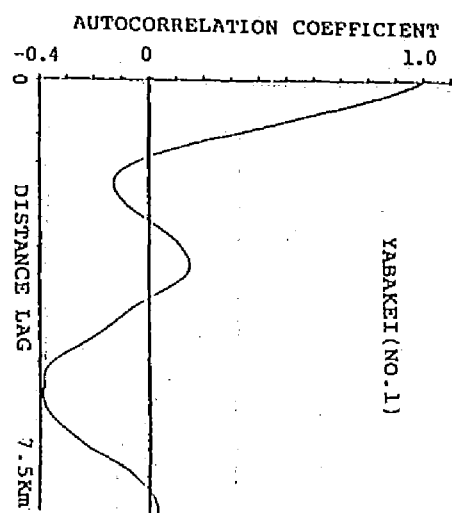
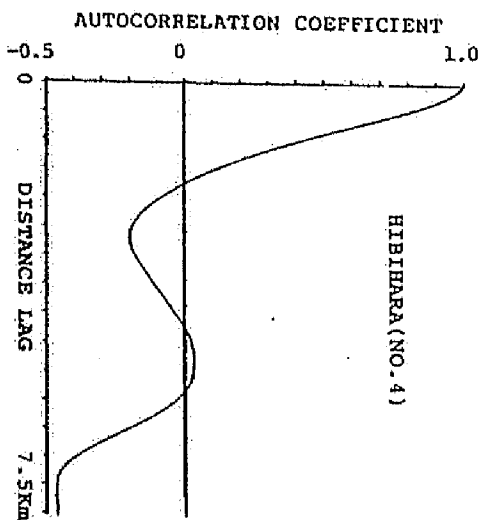
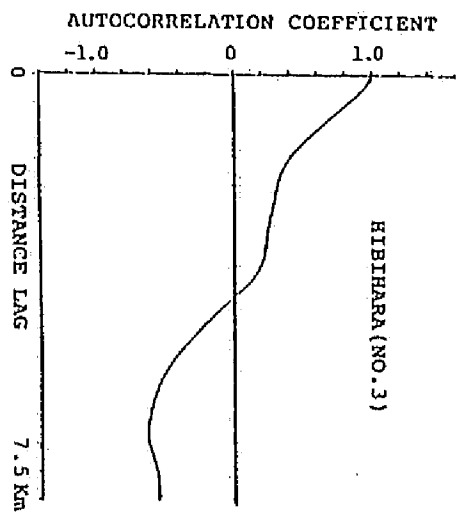
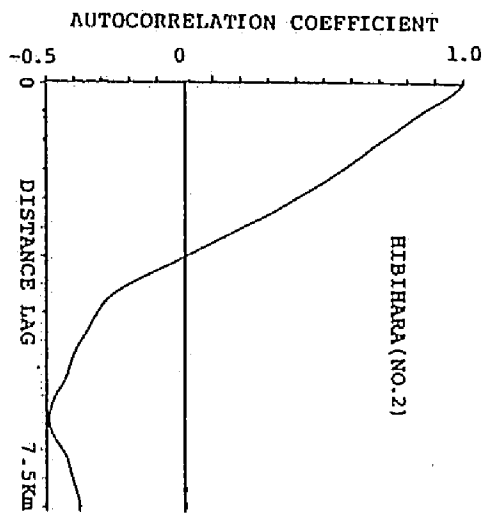
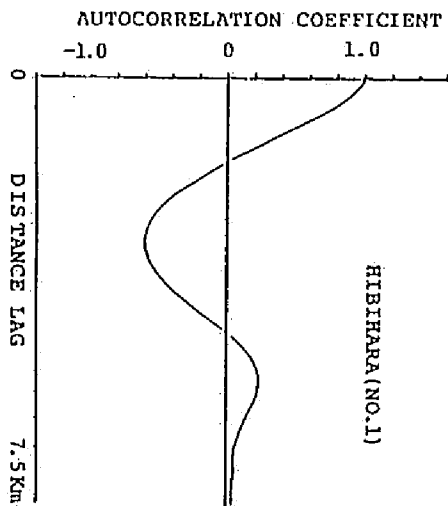
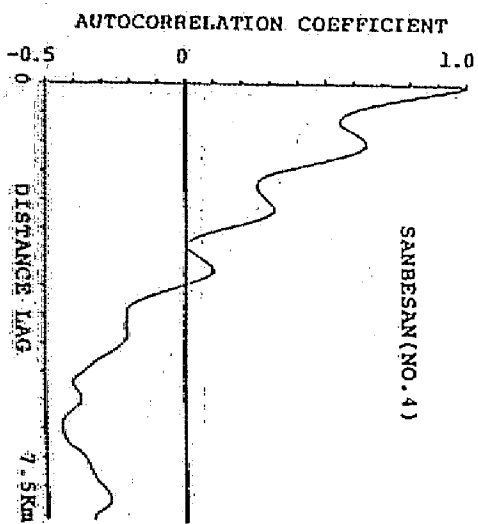
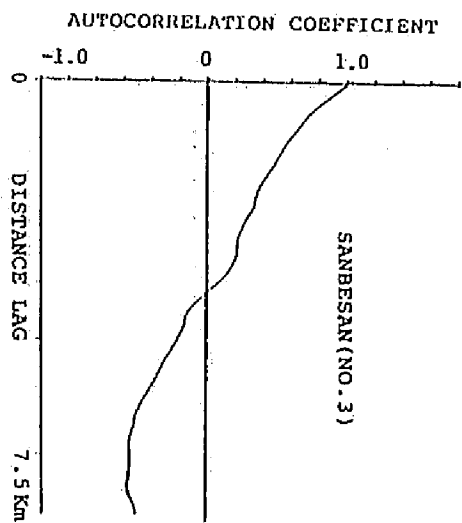
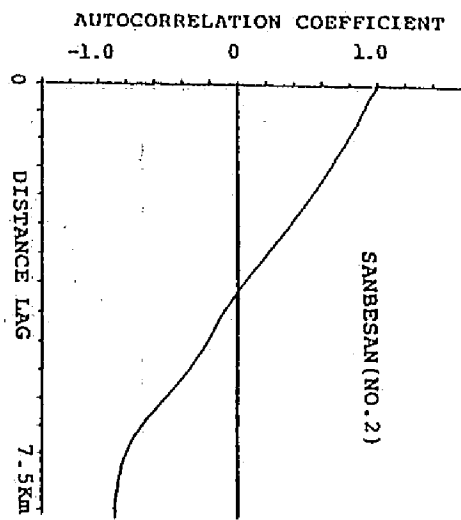
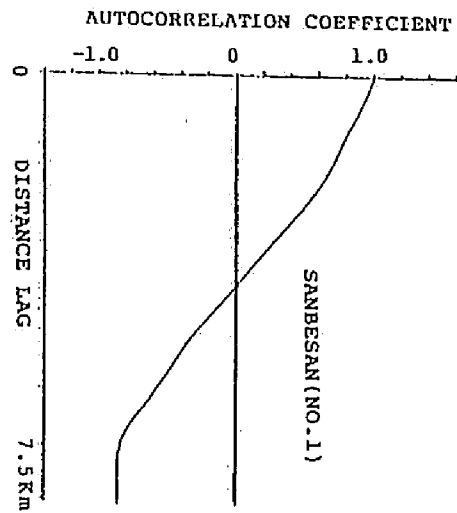


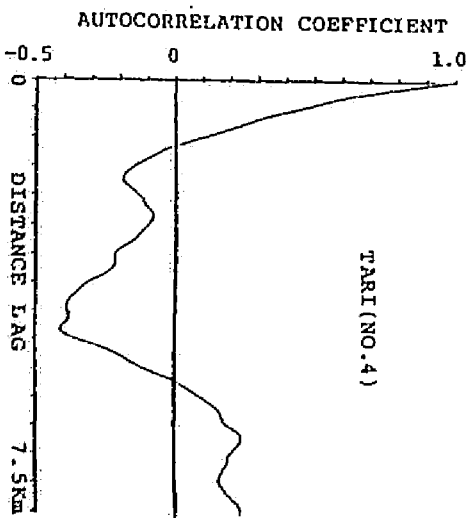
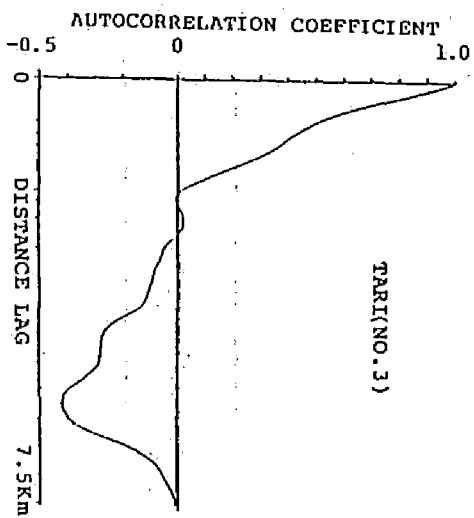
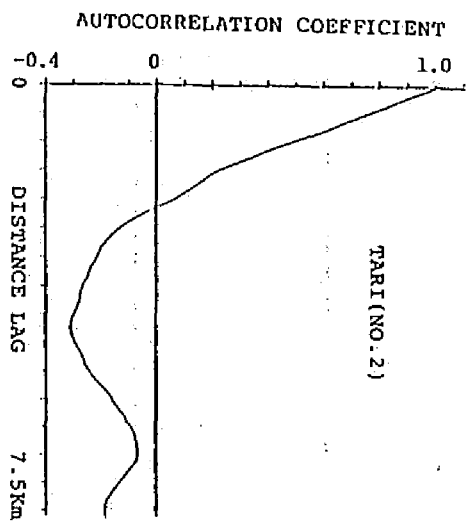
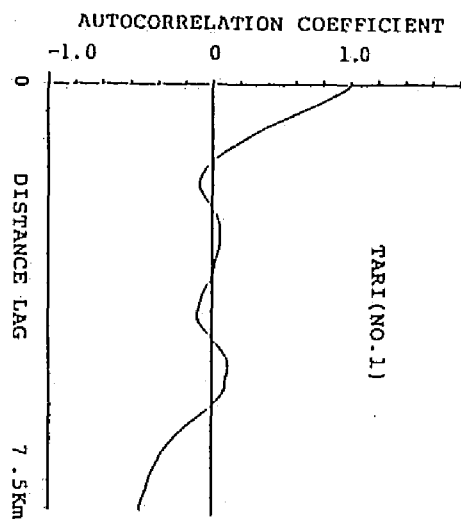
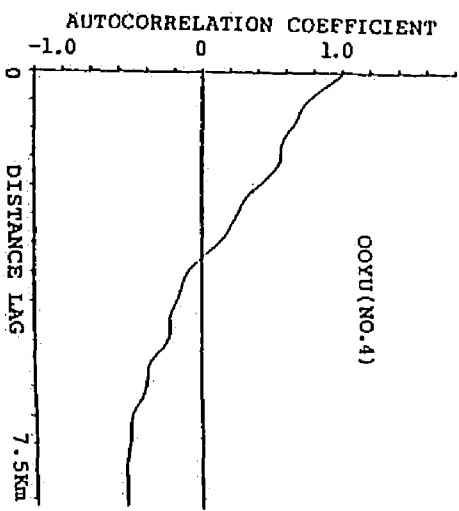
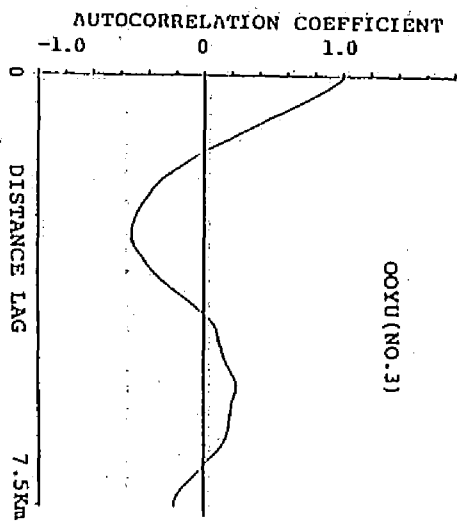
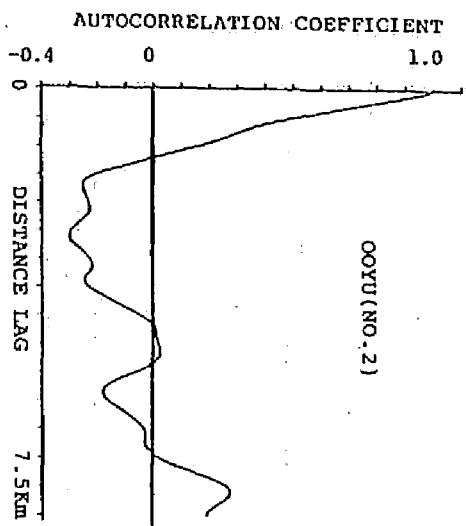
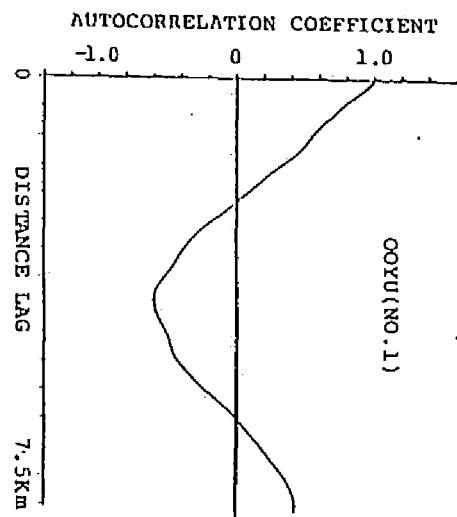
FIGURE 2.3 COMPARISON OF THE CONFIGURATION OF COMPUTER-DRAWN LAND PROFILES USING EQUI-SPACED DATA. THE SAMPLE INTERVAL IS Δx ($\Delta x=50\text{m}$ ON THE GROUND) AND THE PROFILE LENGTH IS L ($L=15\text{km}$), THEREFORE THE DATA WILL CONTAIN WAVELENGTH FROM L TO $2\Delta x$, OR FREQUENCIES FROM $1/L$ TO $1/(2\Delta x)$.











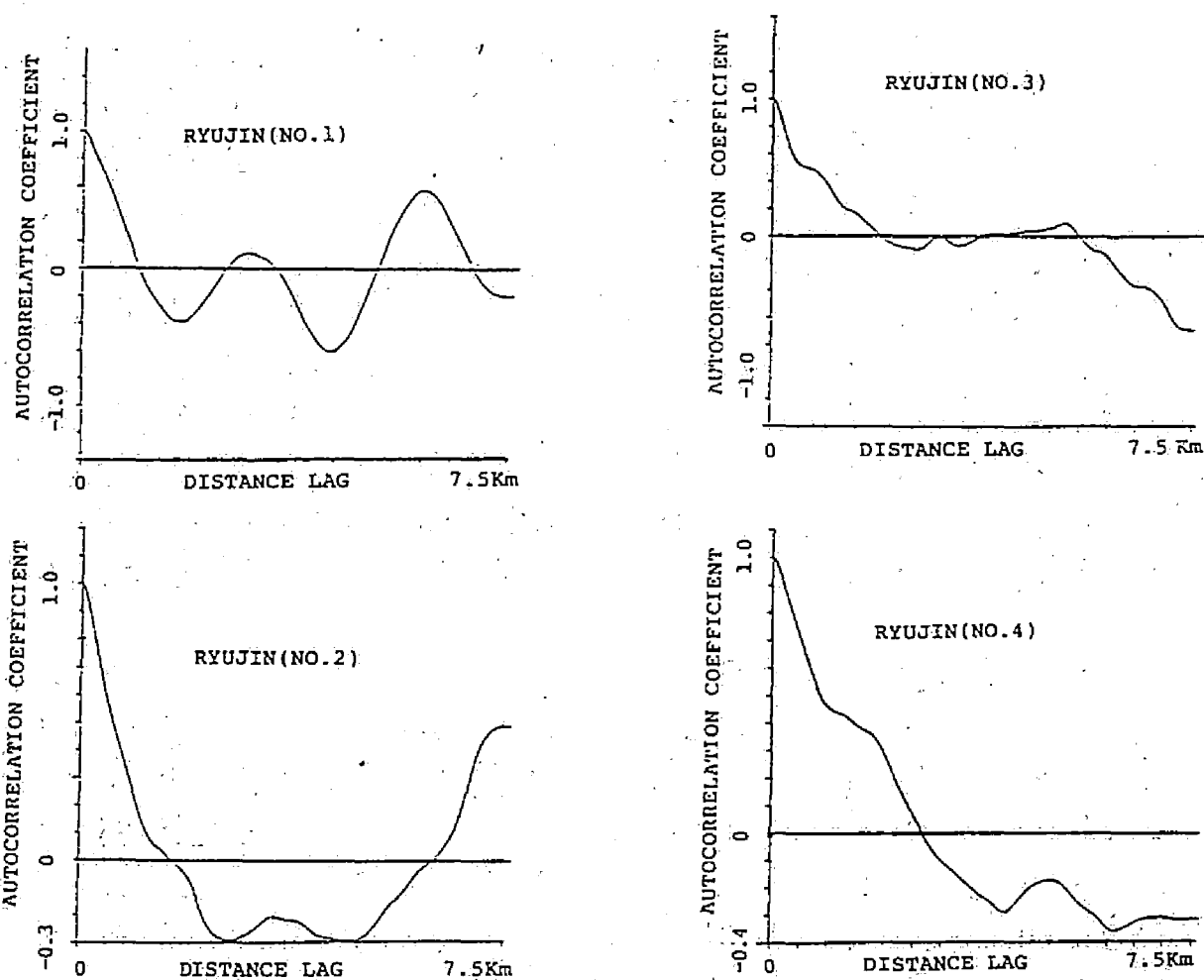


FIGURE 2.4 CORRELOGRAMS OF SEQUENCE FROM FIGURE 2.3. AUTOCORRELATION IS CALCULATED AT EVERY LAG POSITION AND GRAPH IS PLOTTED UP TO $N/2$ LAG.

分、イ、な、日ト周が、
 区、テ、タ、的、(N01)、ア、い、事、
 ら、ッ、の、一、(N01)、二、低、る、
 か、あ、ら、均、(N01)、に、い、
 徴、で、れ、が、住、い、か、て、
 特、向、こ、部、久、強、る、れ、
 的、傾、。、谷、(N01)、に、は、埋、
 態、る、る、や、3、4、線、も、が、
 形、れ、い、塊、(N01)、曲、り、性、
 の、ら、て、地、(N01)、面、よ、期、
 面、見、し、(N01)、断、域、周、
 断、に、中、し、田、も、数、
 形、フ、集、達、日、れ、彼、に、
 地、一、に、発、る、ず、周、め、
 も、ル、フ、が、。、す、い、析、た、
 れ、グ、一、谷、る、属、解、の、
 ず、IV、ル、に、い、に、は、分、
 い、ク、的、て、フ、等、み、成、
 、、II、IV、般、し、一、)含、動、
 は、一、一、一、一、一、一、一、一、
 ら、I、II、を、グ、(N01)、の、る、
 れ、た、に、は、列、I、原、二、数、か、
 こ、し、特、フ、配、比、レ、彼、わ、
 三、影、成、は、れ、よ、彼、し、変、で、
 性、形、特、ラ、確、性、の、す、が、
 期、地、グ、明、特、数、。、関、
 周、れ、口、な、伏、関、る、相、
 る、と、さ、レ、様、起、関、れ、は、
 れ、二、解、コ、の、の、相、ら、れ、
 ら、一、理、こ、形、己、え、な、
 見、タ、が、は、地、自、考、く、
 に、パ、事、性、た、。、が、き、
 ム、の、る、特、ま、は、し、事、大、
 ラ、式、す、伏、。、に、目、る、が、
 グ、様、致、起、る、合、着、す、が、
 口、動、一、状、れ、場、に、析、ら、り、
 レ、変、く、彼、ら、い、性、解、は、あ、
 コ、の、良、す、め、な、関、て、で、が、
 、性、が、示、認、れ、相、し、動、質、
 ら、ム、徴、を、て、さ、の、用、変、性、
 ハ、タ、特、度、し、出、動、利、則、う、
 果、二、的、程、と、模、変、を、規、い、
 結、ラ、態、達、性、が、ム、性、不、と、
 の、は、形、究、越、性、が、特、る、
 ら、I、II、を、グ、(N01)、の、る、
 れ、た、に、は、列、I、原、二、数、か、
 こ、し、特、フ、配、比、レ、彼、わ、
 三、影、成、は、れ、よ、彼、し、変、で、
 性、形、特、ラ、確、性、の、す、が、
 期、地、グ、明、特、数、。、関、
 周、れ、口、な、伏、関、る、相、
 る、と、さ、レ、様、起、関、れ、は、
 れ、二、解、コ、の、の、相、ら、れ、
 ら、一、理、こ、形、己、え、な、
 見、タ、が、は、地、自、考、く、
 に、パ、事、性、た、。、が、き、
 ム、の、る、特、ま、は、し、事、大、
 ラ、式、す、伏、。、に、目、る、が、
 グ、様、致、起、る、合、着、す、が、
 口、動、一、状、れ、場、に、析、ら、り、
 レ、変、く、彼、ら、い、性、解、は、あ、
 コ、の、良、す、め、な、関、て、で、が、
 、性、が、示、認、れ、相、し、動、質、
 ら、ム、徴、を、て、さ、の、用、変、性、
 ハ、タ、特、度、し、出、動、利、則、う、
 果、二、的、程、と、模、変、を、規、い、
 結、ラ、態、達、性、が、ム、性、不、と、
 の、は、形、究、越、性、が、特、る、
 ら、I、II、を、グ、(N01)、の、る、
 れ、た、に、は、列、I、原、二、数、か、
 こ、し、特、フ、配、比、レ、彼、わ、
 三、影、成、は、れ、よ、彼、し、変、で、
 性、形、特、ラ、確、性、の、す、が、
 期、地、グ、明、特、数、。、関、
 周、れ、口、な、伏、関、る、相、
 る、と、さ、レ、様、起、関、れ、は、
 れ、二、解、コ、の、の、相、ら、れ、
 ら、一、理、こ、形、己、え、な、
 見、タ、が、は、地、自、考、く、
 に、パ、事、性、た、。、が、き、
 ム、の、る、特、ま、は、し、事、大、
 ラ、式、す、伏、。、に、目、る、が、
 グ、様、致、起、る、合、着、す、が、
 口、動、一、状、れ、場、に、析、ら、り、
 レ、変、く、彼、ら、い、性、解、は、あ、
 コ、の、良、す、め、な、関、て、で、が、
 、性、が、示、認、れ、相、し、動、質、
 ら、ム、徴、を、て、さ、の、用、変、性、
 ハ、タ、特、度、し、出、動、利、則、う、
 果、二、的、程、と、模、変、を、規、い、
 結、ラ、態、達、性、が、ム、性、不、と、
 の、は、形、究、越、性、が、特、る、
 ら、I、II、を、グ、(N01)、の、る、
 れ、た、に、は、列、I、原、二、数、か、
 こ、し、特、フ、配、比、レ、彼、わ、
 三、影、成、は、れ、よ、彼、し、変、で、
 性、形、特、ラ、確、性、の、す、が、
 期、地、グ、明、特、数、。、関、
 周、れ、口、な、伏、関、る、相、
 る、と、さ、レ、様、起、関、れ、は、
 れ、二、解、コ、の、の、相、ら、れ、
 ら、一、理、こ、形、己、え、な、
 見、タ、が、は、地、自、考、く、
 に、パ、事、性、た、。、が、き、
 ム、の、る、特、ま、は、し、事、大、
 ラ、式、す、伏、。、に、目、る、が、
 グ、様、致、起、る、合、着、す、が、
 口、動、一、状、れ、場、に、析、ら、り、
 レ、変、く、彼、ら、い、性、解、は、あ、
 コ、の、良、す、め、な、関、て、で、が、
 、性、が、示、認、れ、相、し、動、質、
 ら、ム、徴、を、て、さ、の、用、変、性、
 ハ、タ、特、度、し、出、動、利、則、う、
 果、二、的、程、と、模、変、を、規、い、
 結、ラ、態、達、性、が、ム、性、不、と、
 の、は、形、究、越、性、が、特、る、
 ら、I、II、を、グ、(N01)、の、る、
 れ、た、に、は、列、I、原、二、数、か、
 こ、し、特、フ、配、比、レ、彼、わ、
 三、影、成、は、れ、よ、彼、し、変、で、
 性、形、特、ラ、確、性、の、す、が、
 期、地、グ、明、特、数、。、関、
 周、れ、口、な、伏、関、る、相、
 る、と、さ、レ、様、起、関、れ、は、
 れ、二、解、コ、の、の、相、ら、れ、
 ら、一、理、こ、形、己、え、な、
 見、タ、が、は、地、自、考、く、
 に、パ、事、性、た、。、が、き、
 ム、の、る、特、ま、は、し、事、大、
 ラ、式、す、伏、。、に、目、る、が、
 グ、様、致、起、る、合、着、す、が、
 口、動、一、状、れ、場、に、析、ら、り、
 レ、変、く、彼、ら、い、性、解、は、あ、
 コ、の、良、す、め、な、関、て、で、が、
 、性、が、示、認、れ、相、し、動、質、
 ら、ム、徴、を、て、さ、の、用、変、性、
 ハ、タ、特、度、し、出、動、利、則、う、
 果、二、的、程、と、模、変、を、規、い、
 結、ラ、態、達、性、が、ム、性、不、と、
 の、は、形、究、越、性、が、特、る、
 ら、I、II、を、グ、(N01)、の、る、
 れ、た、に、は、列、I、原、二、数、か、
 こ、し、特、フ、配、比、レ、彼、わ、
 三、影、成、は、れ、よ、彼、し、変、で、
 性、形、特、ラ、確、性、の、す、が、
 期、地、グ、明、特、数、。、関、
 周、れ、口、な、伏、関、る、相、
 る、と、さ、レ、様、起、関、れ、は、
 れ、二、解、コ、の、の、相、ら、れ、
 ら、一、理、こ、形、己、え、な、
 見、タ、が、は、地、自、考、く、
 に、パ、事、性、た、。、が、き、
 ム、の、る、特、ま、は、し、事、大、
 ラ、式、す、伏、。、に、目、る、が、
 グ、様、致、起、る、合、着、す、が、
 口、動、一、状、れ、場、に、析、ら、り、
 レ、変、く、彼、ら、い、性、解、は、あ、
 コ、の、良、す、め、な、関、て、で、が、
 、性、が、示、認、れ、相、し、動、質、
 ら、ム、徴、を、て、さ、の、用、変、性、
 ハ、タ、特、度、し、出、動、利、則、う、
 果、二、的、程、と、模、変、を、規、い、
 結、ラ、態、達、性、が、ム、性、不、と、
 の、は、形、究、越、性、が、特、る、
 ら、I、II、を、グ、(N01)、の、る、
 れ、た、に、は、列、I、原、二、数、か、
 こ、し、特、フ、配、比、レ、彼、わ、
 三、影、成、は、れ、よ、彼、し、変、で、
 性、形、特、ラ、確、性、の、す、が、
 期、地、グ、明、特、数、。、関、
 周、れ、口

$$C(T) \rightarrow 0 \quad (T \rightarrow \infty) \quad (2.5)$$

自己関数関数が $x=0$ で最大値をとる偶関数である
という事から

$$C(T) = C(-T) \quad (2.6)$$

$$C(0) > |C(\tau)| \quad (\tau \neq 0) \quad (2.7)$$

この(2.6)、(2.7)式を満たす自己相関係数の近似式として単純な関数

$$R_\alpha(\tau) = e^{-|\tau|/\tau_\alpha} \quad (2.8)$$

$$R_\beta(\tau) = e^{-(\tau/\tau_\beta)^2} \quad (2.9)$$

を考える事ができる。ここに

$$\tau_\alpha = \int_0^\infty R_\alpha(\tau) d\tau \quad (2.10)$$

$$\tau_\beta = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\infty R_\beta(\tau) d\tau \quad (2.11)$$

であり、これらの式より明らかに τ_α 、 τ_β がランダム変動の相関の及ぶ範囲を積分領域として与えている事がわかる。そこで、この関係を図2.5で模式的に示す。

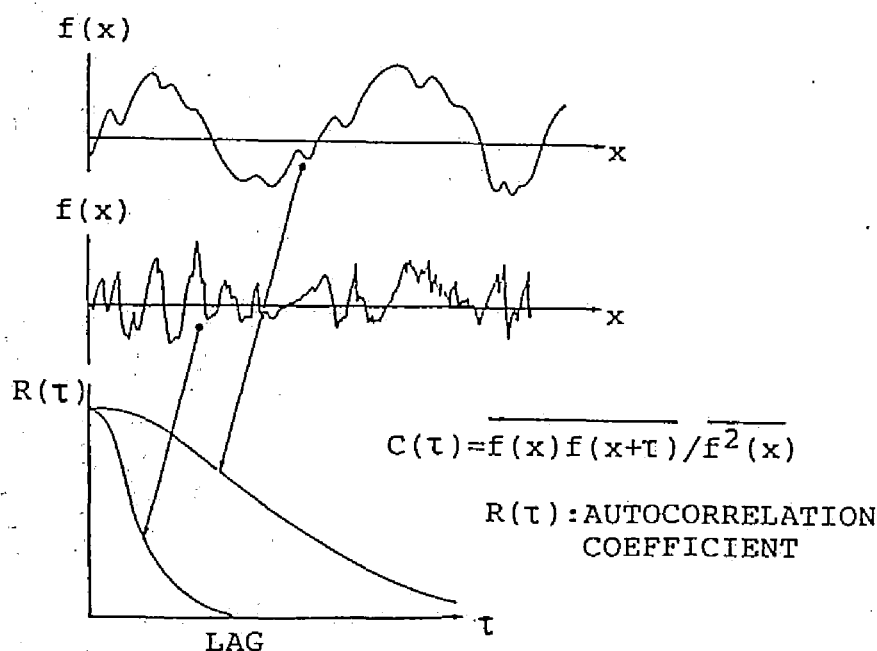


FIGURE 2.5 SCHEMATIC ILLUSTRATION OF RANDOM VARIATION WITH DIFFERENT PATTERN AND THEIR AUTOCORRELATION FUNCTION.

図より、ランダム変動がゆっくりした変動から成り立つ時は、 τ_α または τ_β は大きく、逆に細かな変動の時は、これらの値は小さくなる。この事から、パラメータ τ_α 、 τ_β はランダムな地形の起伏特性

S. O. Rice¹⁶⁾、D. E. Cartright および M. S. Longuest-Higgins^{17), 18)} は、不規則変動系の断面曲線の相対高度分布 $p(\eta)$ が パワースペクトル $S(\omega)$ の 0 次、2 次および 4 次の モーメントより求められるパラメータによって推定できる事を (2.15) 式で示している。

$$p(\eta) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} \left[\epsilon e^{-\frac{1}{2}\eta^2/\epsilon^2} + (1-\epsilon^2)^{1/2} \eta e^{-\frac{1}{2}\eta^2} \int_{-\infty}^{\eta\sqrt{1-\epsilon^2}/\epsilon} e^{-\frac{1}{2}t^2} dt \right] \quad (2.15)$$

ここで、

$$\eta = f/m_0^{1/2} = f/H_{rms} \quad (2.16)$$

$$\epsilon^2 = \frac{m_0 m_4 - m_2^2}{m_0 m_4} \quad (2.17)$$

$$m_n = \int_0^\infty S(\omega) \cdot \omega^n d\omega \quad (2.18)$$

H_{rms} : 断面曲線 $f(x)$ の二乗平均平方根あらさ

$p(\eta)$ は ϵ の関数で与えられ、 $\epsilon \rightarrow 0$ の場合 $p(\eta)$ は Rayleigh 分布、 $\epsilon \rightarrow 1$ では Gauss 分布になる。この関数を示すために、 ϵ の値をパラメータとして (2.15) 式から $p(\eta)$ を推定し、プロットしたのが図 2.6 である。

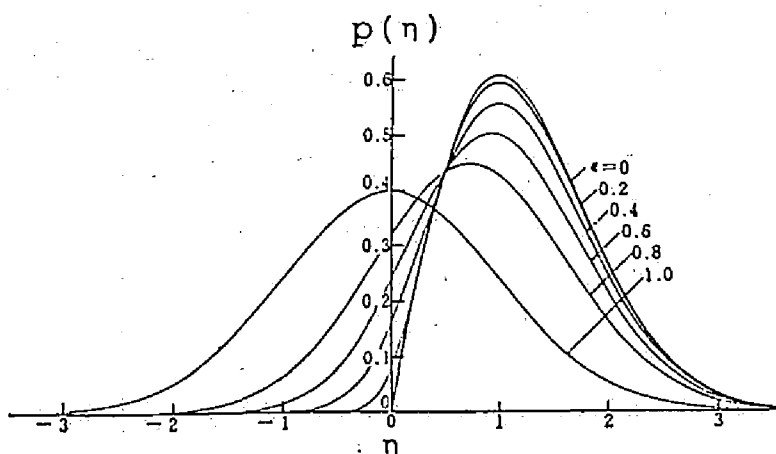


FIGURE 2.6 SCHEMATIC ILLUSTRATION OF PROBABILITY DENSITY DISTRIBUTION FUNCTION OF HEIGHT CORRESPONDING TO VARIOUS ϵ VALUE.

次に、表 2.1 は地形断面から直接推定した相対高度の標準偏差 σ と、 $f(x)$ のパワースペクトルの 0 次モーメント m_0 から推定した標準偏差 σ_f について、地域別・方位別に比較したものである。

TABLE 2.1 COMPARISON OF TWO METHODS FOR ESTIMATION OF STANDARD DEVIATION OF RELATIVE ALTITUDE FOR EACH LAND PROFILE TYPE.

* STANDARD DEVIATION: (m)

1: N-S 2: NE-SW 3: E-W 4: SE-NW

METHOD AZIMUTH	PROBABILITY DENSITY				POWER SPECTRA			
	1	2	3	4	1	2	3	4
DISTRICT								
HITA	208.32	195.31	163.07	166.46	250.09	262.08	243.55	221.46
SUEYOSHI	138.67	145.30	87.99	83.10	137.64	138.84	111.31	94.25
SHIIBA-SON	192.72	162.00	210.80	216.84	309.89	358.61	343.92	382.34
KUJYO	118.67	59.43	405.74	220.13	249.26	254.02	378.13	290.52
YABAKEI	124.81	114.35	100.59	100.51	145.80	117.90	120.26	125.25
SANDANKYO	139.57	193.56	250.59	224.91	314.40	330.67	314.71	324.46
SANBESAN	133.55	178.08	112.07	90.89	114.24	160.54	128.33	107.46
HIBIHARA	237.75	298.01	231.01	236.27	328.95	356.97	352.29	292.70
OOUU	172.66	121.48	141.02	185.82	138.45	115.15	137.69	142.20
TARI	96.66	112.61	98.11	105.63	276.24	257.31	306.58	280.43
RYUJIN	124.10	139.35	117.47	180.12	293.08	255.22	232.53	275.72

これを見ると、末吉、耶馬溪、三瓶山、大用 (N02、3) では σ_f と σ がかなり良く一致しており、パワースペクトルによる推定精度が良好な事が理解される。これに対して、椎葉村、久住 (N01、2)、三段峡 (N01、2)、多里、龍神ではかなりの差異が認められる。そこで、この結果について修正項、ABC の主効果、3 つの 2 因子交互作用 $A \times B$ 、 $A \times C$ 、 $B \times C$ 、3 因子交互作用を含む誤差変動に分解し、三元配置法による分散分析を行ったのが表 2.2 である。

TABLE 2.2 ANALYSIS OF VARIANCE TABLE OF STANDARD DEVIATION OF RELATIVE ALTITUDE.

* ANOVA: STANDARD DEVIATION OF RELATIVE ALTITUDE

FACTOR	df	S	V	S'	F	p (%)
A	1	118922.18	118922.18	181132.66	150.63**	17.89
B	3	2965.93	988.64	597.37	1.25	0.09
C	10	333020.52	3302.05	325125.32	42.18**	49.23
A × B	3	922.88	307.63	—	—	—
A × C	10	88920.13	8892.01	81024.93	11.26**	12.27
B × C	30	91972.27	3065.74	68286.67	3.88**	10.34
e	30	23685.44	789.52	67242.41		10.18
T	87	660409.35		660409.35		100
(e')	33	24608.33	745.71			

ここで、要因Aは算定法(2水準)、Bは方位(4水準)、Cは地域(11水準)である。
 いは地域差および算定法について有意差が認められていないが、同一地域での方位間の有意性は生じている。また、交互作用(A×C、B×C)においても有意な影響が認められていない。したがって、この結果は対照的傾向が見られる。

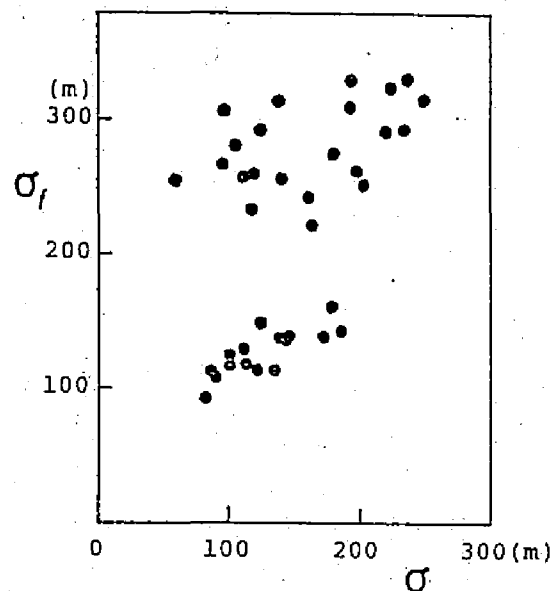


FIGURE 2.7 DIAGRAM TO ILLUSTRATE THE DIFFERENCE OF ESTIMATED VALUES OF STANDARD DEVIATION OF ALTITUDE VARIATION CORRESPONDING TO ALTERNATIVE METHOD.

ここで、地形断面のσの値は、基準面μの大きさによって比較した結果が表2.3である。
 正規化式(2.19)を算定した結果が表2.3である。

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \times 100 (\%) \quad (2.19)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (a + b \sin 2\pi \frac{x}{T} - a)^2 dt$$

$$= \frac{b^2}{T} \int_0^T \sin^2 2\pi \frac{x}{T} dt = \frac{b^2}{2}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{b^2}{2}} = \frac{b}{\sqrt{2}} \doteq 0.7b \quad (2.21)$$

これより

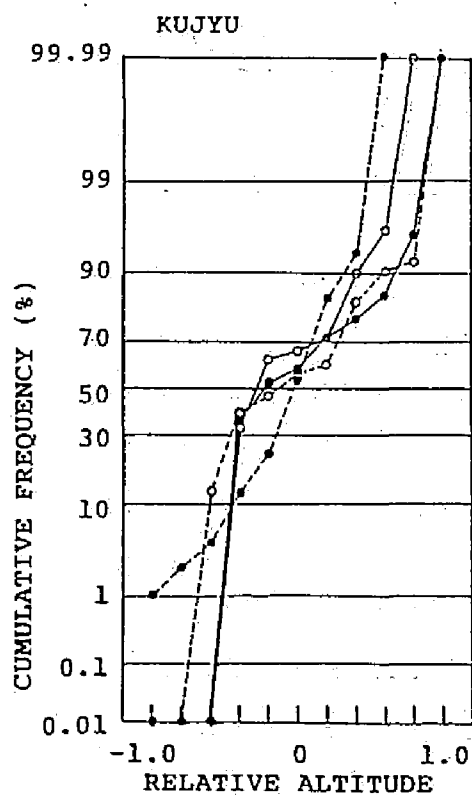
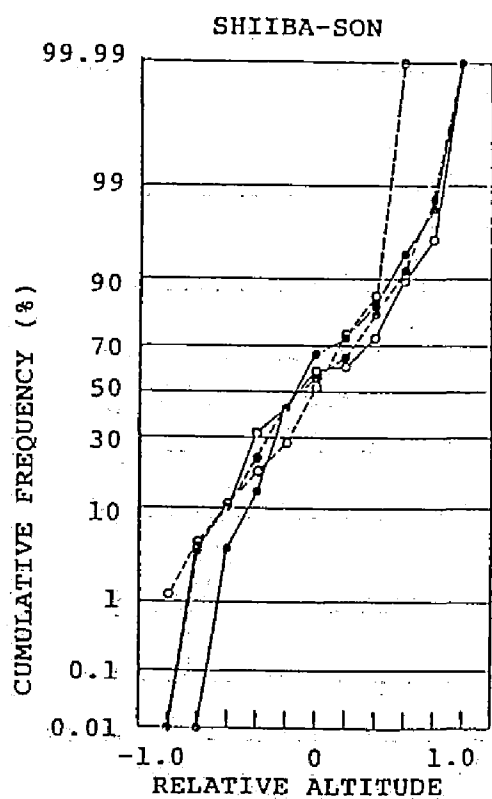
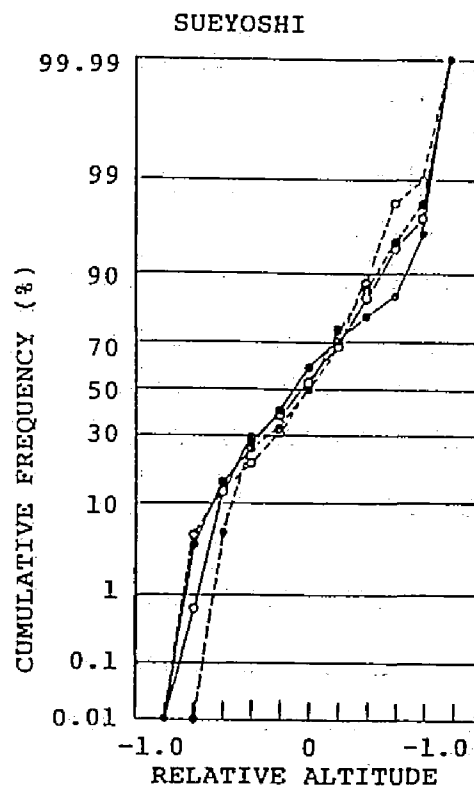
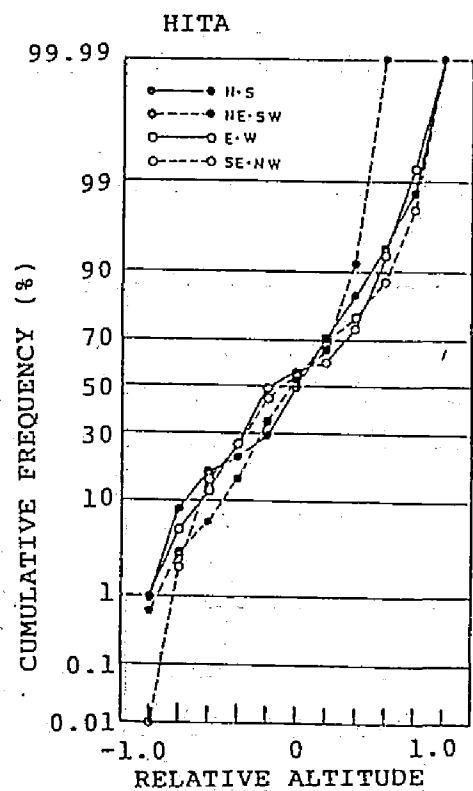
$$CV = \frac{b}{a\sqrt{2}} \times 100 = \frac{100}{\sqrt{2}} \frac{b}{a}$$

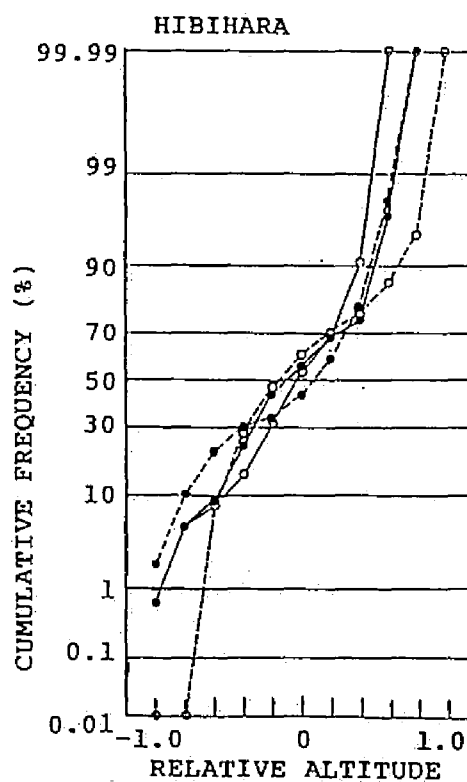
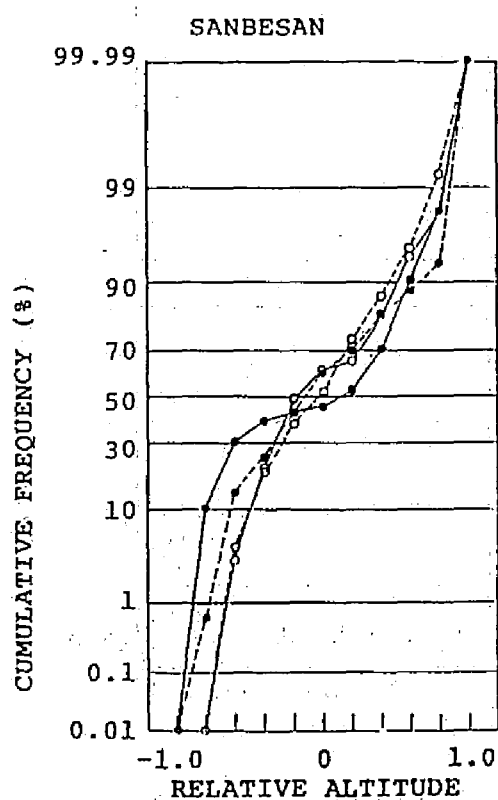
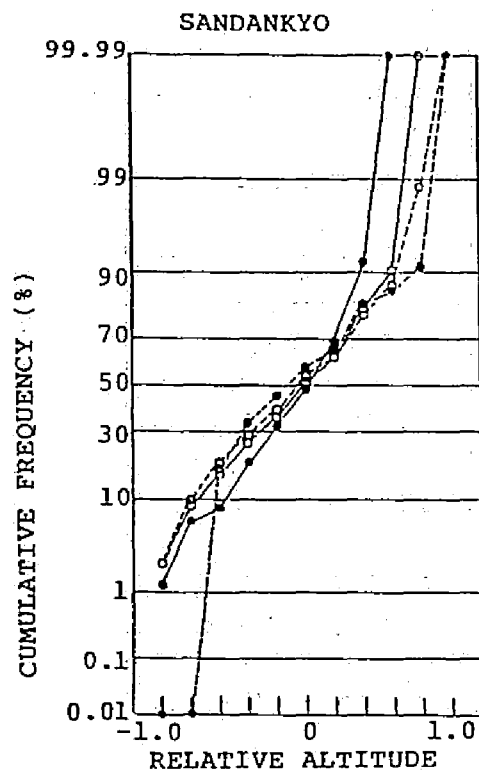
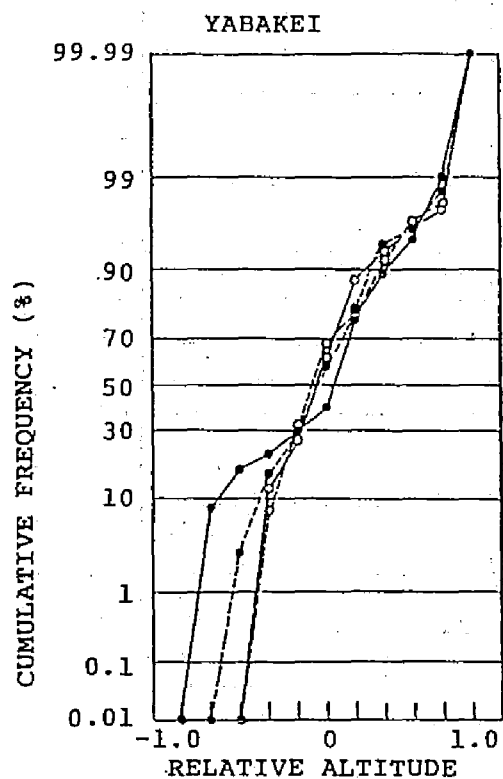
$$= 50\sqrt{2} \frac{b}{a} \quad (\%) \quad (2.22)$$

CV=35 としてこの式に代入すると

$$\frac{b}{a} \doteq 0.495 \quad (2.23)$$

と (2.23) 換周見
 るて $S(\omega)$ 低と
 する。低と
 する。低と
 と対しなかる
 のに對しなか
 も a に事動法
 い面形る変均
 な準波え成平
 が基な午合動
 響、様を則移
 影はす果規の
 のでた結不種
 ド面満なは一
 ン断に好方、
 レる的良える
 トす似が考見
 アと近度のを
 ニ調を精二分
 り基係定、成
 、を關係ばの
 り彼ののれ動
 な周式らるす
 と低 23) か言彼
 累も地 示るて
 布たて、
 性をわに多
 線が心に、
 直事中りの
 けるをあ値
 線い値で均
 曲て均事平
 積、平うも
 累な、い面
 高確率に
 對規縦る
 相正、い
 ので度て
 (x) し高
 ちと對示
 は布相に
 10分に別
 2. 数軸位
 圓度横方
 度、對、
 相で別神
 り彼のの
 な周式ら
 と低 23) か





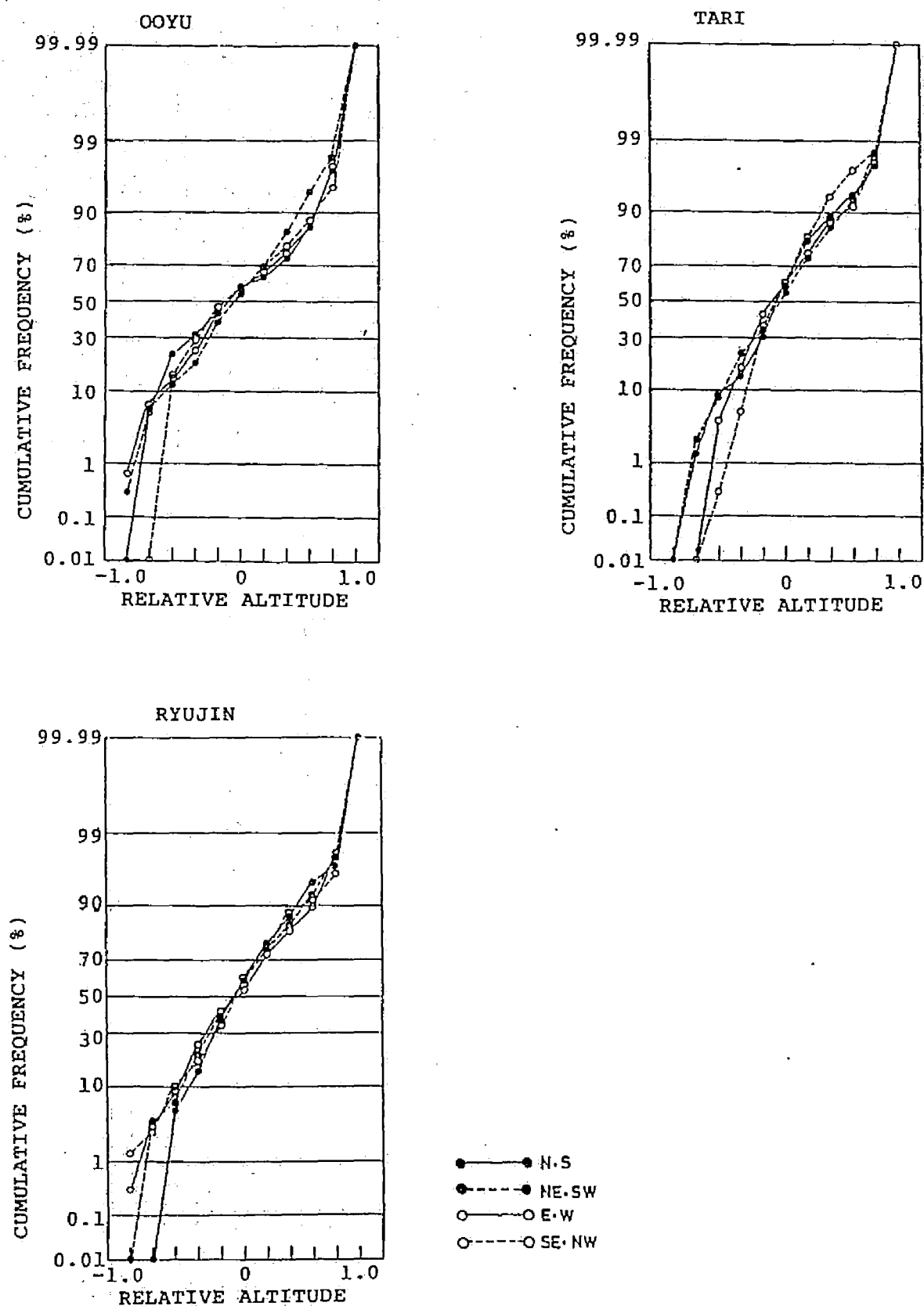


FIGURE 2.10. PLOT ON NORMAL PROBABILITY GRAPH PAPER OF ALTITUDE DATA FROM LAND PROFILES. NORMAL PROBABILITY GRAPH PAPER IS SCALED SO THAT IF OBSERVATIONS ARE NORMALLY DISTRIBUTED THEIR RELATIVE CUMULATIVE FREQUENCY IN PERCENT PLOTS AS A STRAIGHT LINE. THE STRAIGHT LINE FITTED BY EYE TO THE ALTITUDE DATA DOES NOT EXACTLY FIT THE POINTS, BUT IT IS CLOSE ENOUGH TO THEM TO INDICATE THAT THEY ARE DISTRIBUTED NEARLY NORMALLY.

ニら谷 外異極久あ よが波か
 り見い 以が、で なる周果 曲(2.17)式次振
 、に広 ド散ばし、性 線き高結 績(2.18)の幅
 て例と ニ分れ示特 曲ぶとの したに〜ル域 ト持周0つに周きる
 の塊 レのすを状 積がドラ しめ(2.17)ト帯 クを心=ニりい大い
 と山山 トり定フ形 累事これ 述た(2.17)クの ス一の、ルまなちし¹⁹⁾⁻²³⁾
 分瓶の。アわ仮イる は、るレこ 前は。ヘル がいかに ω_1 なる重示は
 成三ーすニまをタれ いはすト 評考フペれとの域場ス波と ω_1 時、ル値(2.15)式
 動、単示り値ドのさ 状別、が、 いる価えーくる狭幅合々数なすがを式
 変て、さ、均ン(C)表 形大は事 あにをパスさを幅帯るに周 ω_1 時、ル極(2.15)
 のっく性て平レは代 断面にれる 性ク量は、解値に、き逆い $\omega_2 \gg \omega_1$ なッのほ
 波あさ特し、トでに 断フずい 特ッ計量れ理のりくで、さ $\omega_2 \gg \omega_1$ 様り他には
 周で小のとみの型 域タらし 布り統のさがでわさ視し小、つなて時
 低合が形分含次値NO2 地のか因 分のこの定事まま小無示、ち持か、の
 に場分地成を2大び 析ら布起 のメと、推る工の程くをて、持を細な0
 かむ成た動ド、極よ 解れ分に。らうるにりい〜 ω るさ値ッをクにと=0
 る信波れ変ニり、お たこ規分るれパれ様よて0数き小極あー一動1と=0
 はを周さ、レあ(d)、NO1 しほ正成れこをうるトえは波でてのガワと変ニと=0
 もド高成はトではNO1 とほに動さ、フえれニ与値周視しつ数パのなと=0
 リニに構(e)の場合の 象、的変察にイ与さメをの無比一彼の他か、え
 よレ様ら、次場型域 対て般の考次タで示一りどつがにて周とにやは例
 数トるか(d)、高る値地。 っ一部ら 線式でモバ 一他 ω_1 っ心ん ω_2 るに

$$\rho(\eta) = \begin{cases} \eta e^{-\frac{1}{2}\eta^2} & \eta > 0 \\ 0 & \eta < 0 \end{cases} \quad (2.24)$$

となり、 $\rho(\eta)$ の分布は Rayleigh 分布となる。

その標準偏差 θ_{rms3} を考える。ただし、 $f(x)$ 上の同心
 基円は 40 測点とし、断面線上にランダムに設定した。
 表 2.4 は、それぞれの手法で推定した θ_{rms} を % で
 示したものである。

TABLE 2.4 COMPARISON OF THREE METHODS FOR ESTIMATION OF STANDARD
 DEVIATION OF SLOPE GRADIENT FOR EACH LAND PROFILE.

STANDARD DEVIATION OF GRADIENT (%) 1: N-S 2: NE-SW 3: E-W 4: SE-NW

METHOD AZIMUTH	CONCENTRIC CIRCLE				SPECTRAL MOMENT				DIFFERENTIATION			
DISTRICT	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
HITA	13.71	10.21	15.86	13.76	12.28	12.87	11.96	10.87	19.87	15.71	14.63	17.27
SUEYOSHI	12.01	21.48	11.10	12.69	6.76	6.82	5.47	4.63	17.11	17.26	15.36	14.45
SHIIBA-SON	15.90	12.48	12.87	10.85	15.21	17.60	16.88	18.77	20.87	18.57	18.77	19.69
KUJYU	22.98	16.01	16.91	17.67	12.24	12.45	18.56	14.26	17.90	15.03	26.81	16.68
YABAKEI	15.74	12.72	18.31	14.11	7.16	5.79	5.90	6.15	19.86	14.71	16.70	16.99
SANDANKYO	15.09	15.89	17.46	20.99	15.43	16.23	15.45	15.93	17.98	18.43	17.83	18.34
SANBESAN	18.05	12.43	14.22	9.70	5.61	7.88	6.30	5.28	12.23	16.18	15.64	14.80
HIBIHARA	14.52	16.98	12.40	14.94	16.15	17.52	17.29	14.37	18.75	16.90	19.02	19.86
OOYU	12.65	13.14	8.27	20.45	6.80	5.65	6.76	6.98	15.64	15.59	15.86	14.95
TARI	13.99	13.91	12.06	15.56	13.56	12.63	15.05	13.77	17.49	15.16	19.36	19.37
RYUJIN	7.64	8.86	10.35	8.42	14.39	12.53	11.41	13.53	19.89	19.14	18.08	17.58

算定法によつて θ_{rms} の値に差が見られるが、 θ_{rms2}
 の値は他の方法に比較して相対的に大きな値を示し
 ていられる。この場合、地域および断面方向による
 差は小さくなっている。
 $f(x)$ のパワースペクトルより算定した θ_{rms1} は、末
 吉、耶馬溪、三瓶山、大用地域では他地域に較べて
 かなり小さい値を示しているが、 θ_{rms1} の推定量とし
 てはほぼ等しい値となっている。これは、図 2.3 の
 $f(x)$ の起伏特性で示される様に、これらの地域が
 りれも比較的に谷の入り込んだ波状起伏を呈している
 (II ケルプ) という形態的類似性によるものであると
 考えられる。
 表 2.5 は、この算定結果について分散分析を行っ
 た水準) の要因 A は算定法 (3 水準)、要因 B は方位 (4
 水準)、要因 C は地域 (11 水準) である。
 この分析では、A、C の主効果と、 $A \times C$ の交互作用が
 有意となった。有意となったが、同心
 基円法 A の寄与率は、50% 以上となつてい
 るが、 θ_{rms3} が他の二法と本質的に異な
 ることを考えると、この結果はうなずけ

る。 $f(x)$ の方位差が認められない事は、斜面傾斜が比較的面的な振がりを持って存在している事を示しているからであると考えられる。

TABLE 2.5 ANALYSIS OF VARIANCE TABLE OF STANDARD DEVIATION OF SLOPE GRADIENT(PERFORMED FAST FOURIER TRANSFORM).

ANOVA(STANDARD DEVIATION OF GRADIENT)						
FACTOR	df	S	V	S'	F	p(%)
A	2	1701.10	850.55	1693.40	229.25**	50.58
B	3	7.16	2.39	—	—	—
C	10	640.62	64.06	602.12	17.27**	17.98
A×B	6	17.89	2.98	—	—	—
A×C	20	495.82	24.79	418.82	6.68**	12.51
B×C	30	254.77	8.49	139.27	2.29	4.16
e	60	230.89	3.85	494.64		14.77
T	31	3348.25		3348.25		100
e'	(69)	(256.94)	(3.71)			

ところで、微分法により推定した θ_{rms2} は、FFT アルゴリズムにより、スペクトルのリニク効果を取り除いて算定しているが、このリニク効果によるスペクトルの歪みが θ_{rms2} にどのように影響するかを検討するため、FFT処理を施さずに θ_{rms2} を算定し、分散分析により比較したのが表 2.6 である。

TABLE 2.6 ANALYSIS OF VARIANCE TABLE OF STANDARD DEVIATION OF SLOPE GRADIENT(WITHOUT PERFORMED FAST FOURIER TRANSFORM).

ANOVA(STANDARD DEVIATION OF GRADIENT)						
FACTOR	df	S	V	S'	F	p(%)
A	2	8054.88	4027.44	8054.26	129.75**	81.54
B	3	8.06	2.69	7.13	8.66**	0.07
C	10	946.00	94.60	942.89	304.77**	9.55
A×B	6	2499	6.17	23.13	13.42**	0.23
A×C	20	561.46	28.07	555.25	90.44**	5.62
B×C	30	264.36	8.81	255.05	28.31**	2.58
e	60	18.62	0.31	40.66		0.41
T	131	9878.38		9878.38		100

もの、し寄結
 用5.たかの
 作2.まし果5
 互表。効2.5
 交がる。主表
 子率いるのは
 因与てBに
 、寄ってび的
 果のな少よ体
 効法く減お全
 主定高は用、る。基を平均したに理解はく、と、
 の算で率作もれ果関係あ推定処理は除く、と、
 てにめ与互てら結の場合よりFFTは、る部分を
 べ特極寄交めえのる様により、 θ_{rms2} は、い地域を
 す、との含考ら θ_{rms2} によるにれ、 θ_{rms2} は、い地域の
 と、り%差外をとれ、 θ_{rms1} にれ法ら θ_{rms2} は、い地域の
 るて82域以事いこ、 θ_{rms1} にれ法ら θ_{rms2} は、い地域の
 見、 θ_{rms1} にれ法ら θ_{rms2} は、い地域の
 をな較よ、少差はる算認。異除に定と考
 れとににらが大2.3すのがい差取り θ_{rms1} の推る。と
 こ、意合れが率と図に相大よを取 θ_{rms1} の推る。と
 有場こな与果斜いのがに果し θ_{rms1} に近づく

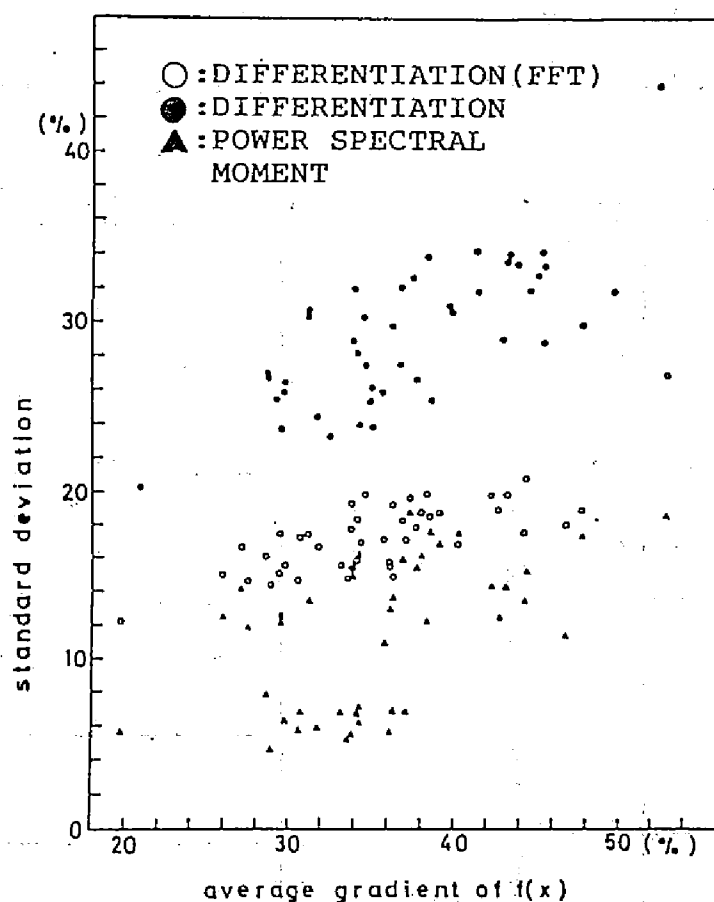
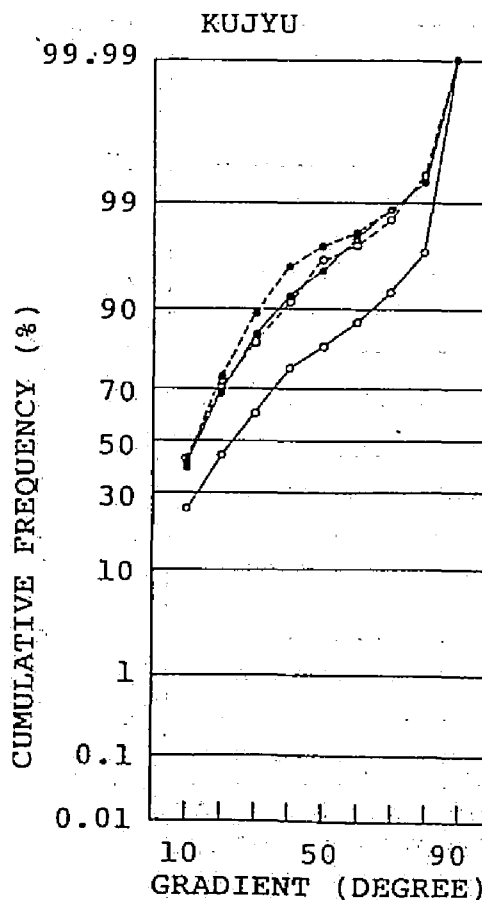
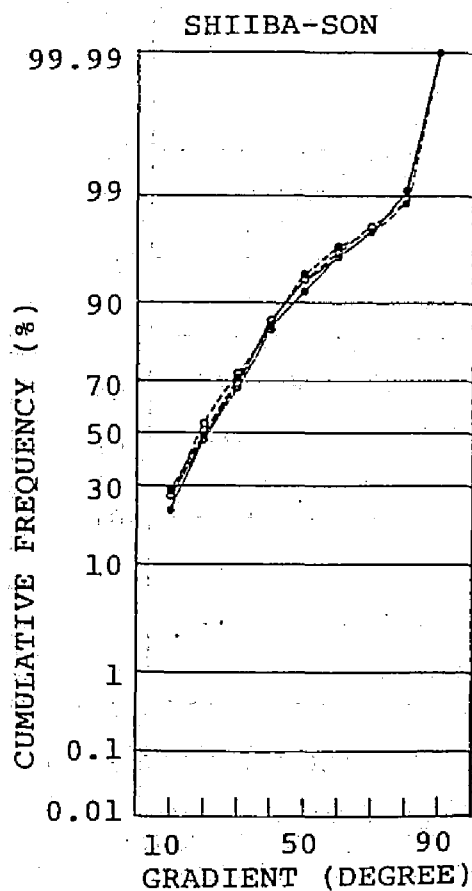
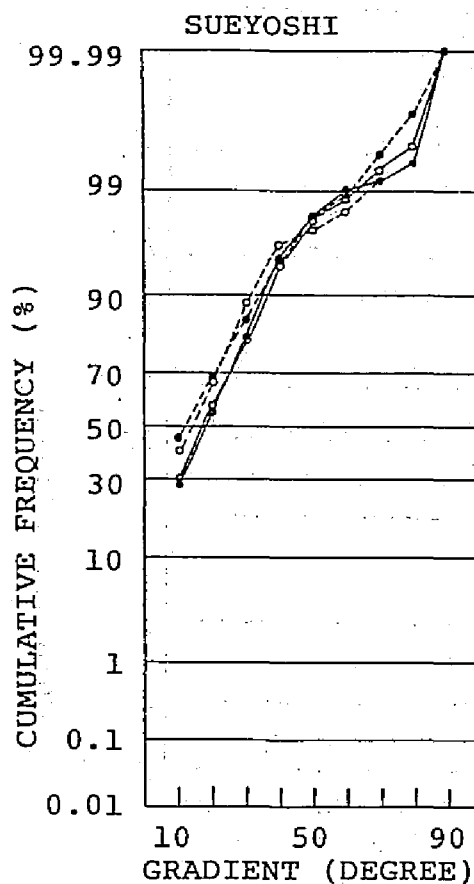
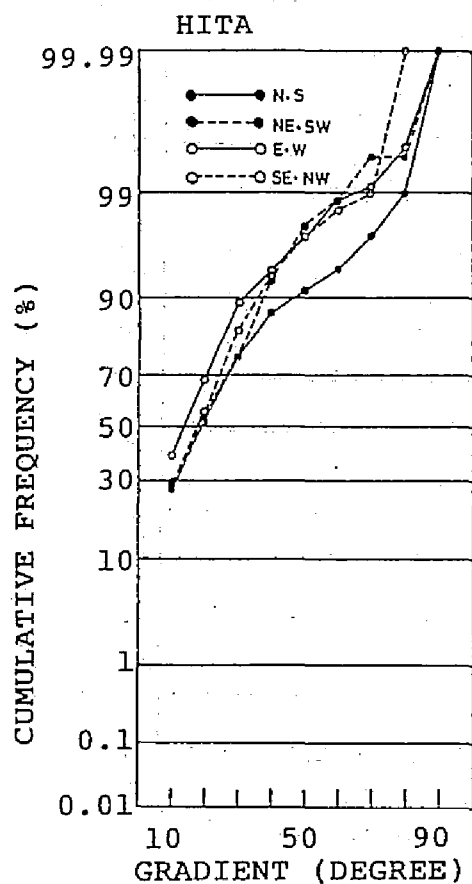
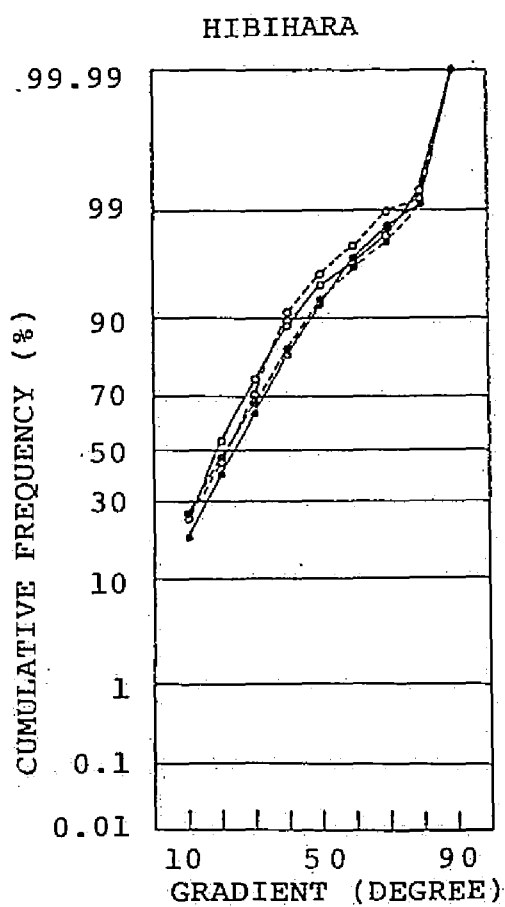
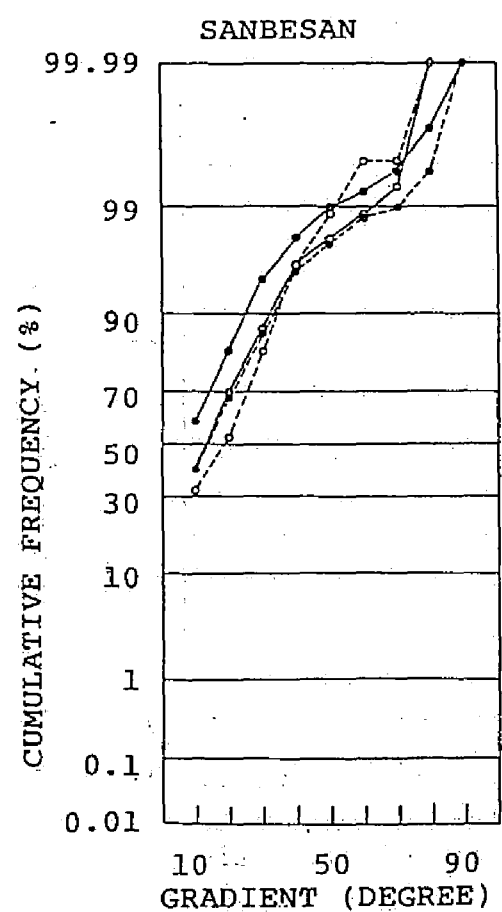
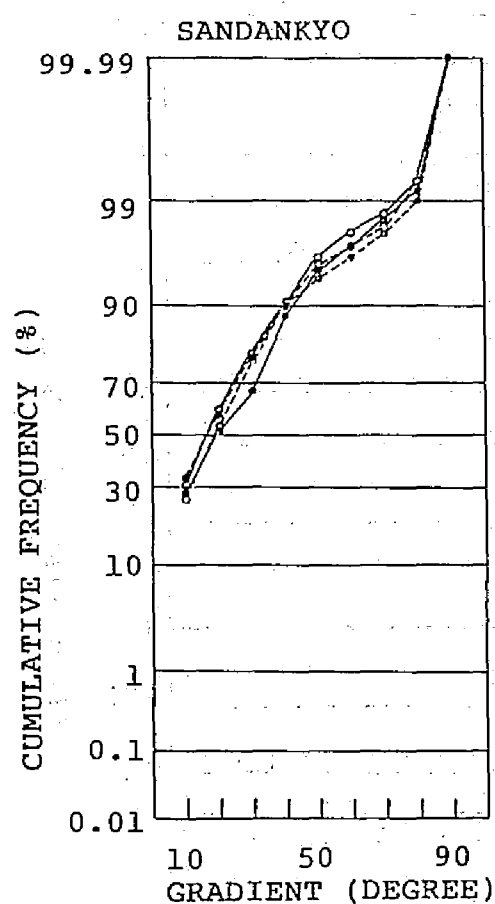
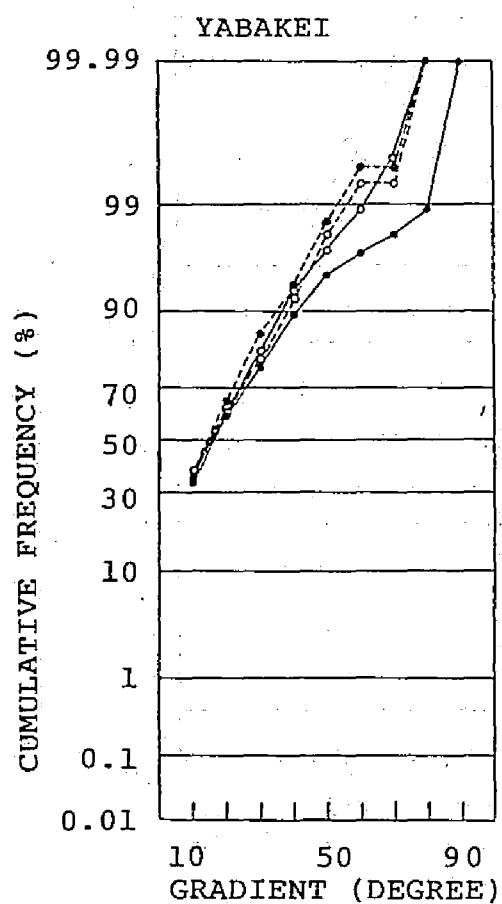
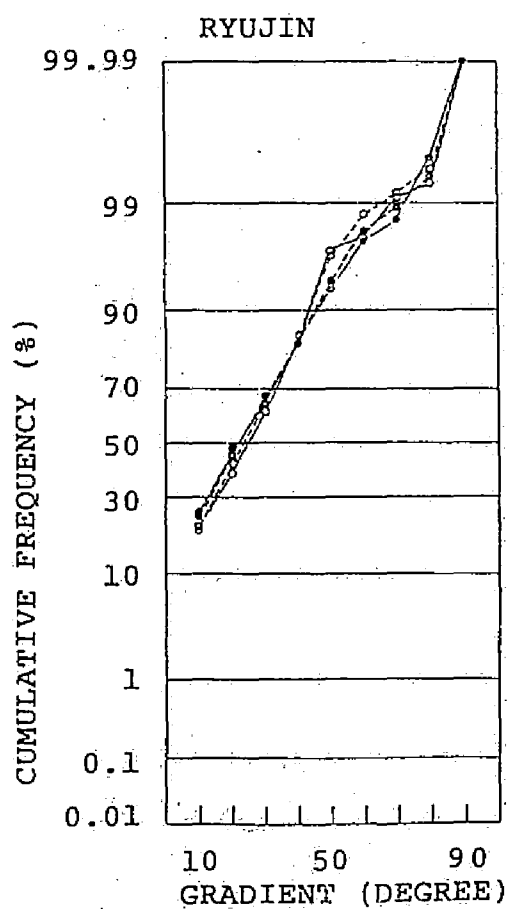
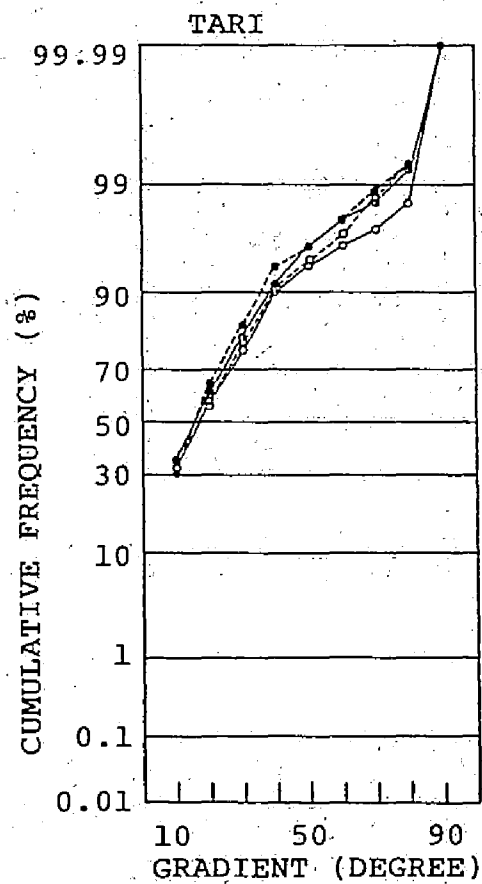
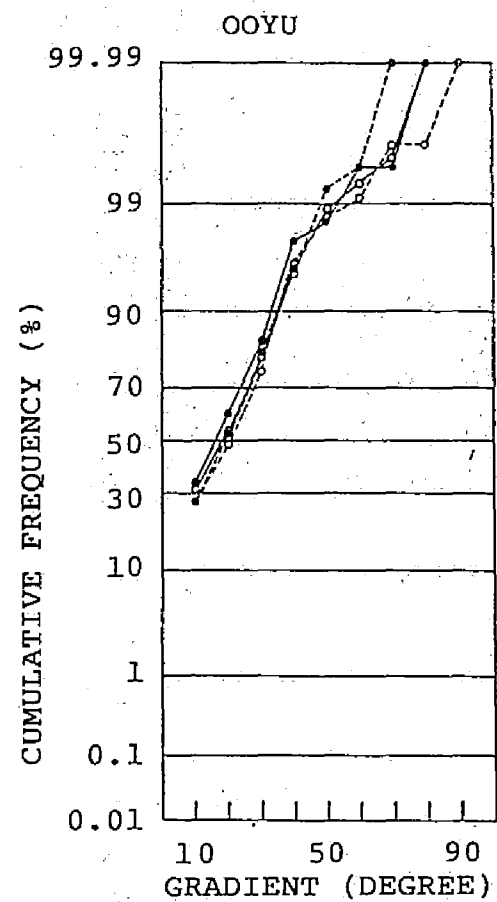


FIGURE 2.13 RELATIONSHIP BETWEEN MEAN AND STANDARD DEVIATION IN GRADIENT VARIATION CORRESPONDING TO ALTERNATIVE METHOD.

図2.14は、微分法によって算定した傾斜角の絶対値をとり、相対度数に変換して累積相対度数分布として正規確率紙にプロットしたものである。







- N-S
- NE-SW
- E-W
- SE-NW

FIGURE 2.14- PLOT ON NORMAL PROBABILITY GRAPH PAPER OF GRADIENT DATA FROM LAND PROFILES.

言える。
このことは

$$\left. \begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} W(f) df &= 1 \\ W(f) &= W(-f) \end{aligned} \right\} \quad (2.29)$$

で示される。この条件を有する関数は無限にあり、
スベクトルウィンドウはいくらでも作ることができる。³⁰⁾⁻³²⁾
事、種々のウィンドウが提案されている。
長方形ウィンドウ、Bartlettウィンドウ、Parzenウィ
ンドウは理論的に理解しやすく、実際に良く利用さ
れる。(2.30)~(2.32)式として定義されている。
長方形ウィンドウ：

$$W(f) = 2u \left(\frac{\sin 2\pi uf}{2\pi uf} \right) \quad (2.30)$$

Bartlettウィンドウ：

$$W(f) = u \left(\frac{\sin \pi uf}{\pi uf} \right)^2 \quad (2.31)$$

Parzenウィンドウ：

$$W(f) = \frac{3}{4}u \left(\frac{\sin \frac{\pi uf}{2}}{\frac{\pi uf}{2}} \right)^4 \quad (2.32)$$

この式に従って、 u をパラメータとして $W(f)$ を模式的に示したのが図2.15である。
図より、長方形ウィンドウは、鋭いピークと大きいサイドローブがあるのが特徴であり、Bartlettウィンドウは、ピークの鋭さが減り、サイドローブも比較的小さくなっている。Parzenウィンドウは、なめらかな山の形をしておりサイドローブはほとんど見られない。

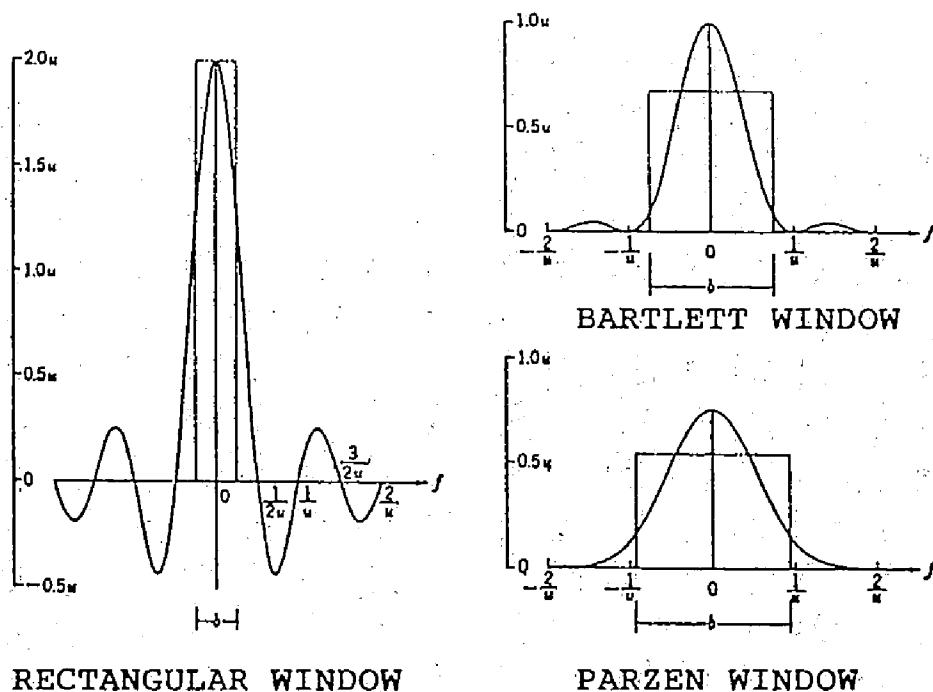


FIGURE 2.15 GEOMETRICAL ILLUSTRATION OF INTERRELATIONSHIP AMONG PROPERTIES OF SPECTRAL WINDOWS.

この対応関係を具体的に把握するために、(2.30)~(2.32)式を(2.33)式として総括して表わす。

$$W(f) \propto \left(\frac{\sin \frac{2\pi u f}{n}}{\frac{2\pi u f}{n}} \right)^n \quad n=1, 2, 4 \quad (2.33)$$

ろ、事をみる、ただ、うみれる、な、事行重ずいて、た、は、うみれる、の、を、い、し、ド、る、作、域、フ、ィ、ル、の、サ、ル、離、の、重、れ、を、通、し、て、ど、こ、ま、で、は、い、い、平、小、は、示、ニ、い、の、帯、域、の、幅、が、な、移、る、図、2.15、の、ウ、ィ、を、で、は、な、い、ク、小、ト、ラ、し、の、こ、た、け、を、明、確、で、は、い、ト、ブ、ハ、カ、示、し、時、分、た、け、(Band-pass filter)、だ、し、明、確、で、は、い、と、ロ、テ、く、る、求、め、ま、動、タ、た、は、な、る、ド、ッ、キ、と、を、る、振、ル、の、幅、な、い、よ、大、を、値、れ、あ、フ、せ、幅、く、サ、に、は、値、均、ら、に、域、做、ド、き、ウ、で、均、平、な、考、の、と、バ、ナ、リ、ド、心、平、な、考、の、と、バ、が、な、ニ、中、た、様、と、幅、て、る、の、れ、と、ハ、ツ、こ、も、あ、従、て、タ、

2.3.2 ウィンドウの選択とバンド幅の決定

一差ウビ。スキ的、
 の、るの大般く、
 点とくああ点にき
 題値様ながでる値、大
 問たた少向響あ均、
 うれしは傾影、平漏れ、
 伴さ示りうのにのLeakage、
 に化に偏いづ際点：Lはどのりる偏、
 化滑15と一ののれうんこわな、てで依ルン対が負あもニ過ていらり常ド々、をニ得
 滑平2ほい口化数(漏ドと、代くにつ定にトイにブにでりバ狭きなめき通ニ序し幅バを
 平と図のきド滑動れニほはいさ様あ決形クウのー值的よのが過ぎな。イを化ドるる
 の値はも大イ平振ちィが(f)さ小のがにのペ、
 ウのていはサとたえウれW(小がこマ概ルスParzen、
 ドルし鋭の、いれ考形漏るがれ。ニートーParzen、
 ント関かもはき離ハ方はれり漏るレはクワとらサクしりーバ凹ハク位事方バ的当手と
 ィクにクな題大く事長ウさ偏程れシハペ、
 ウペ点ーハ問が遠るにドわはるさい適スのBartlett認にス必のルるまースクま般で段らこも
 ルスののらのブがえ様ニ表れな解な最の面Bartlett認にス必のルるまースクま般で段らこも
 トのこのだつー値年のィでけく理しが元断、差ま果り上フでルのるどてたclosing)をか、
 ク生、ウな一ロルを15ウ式さきか立ウと形とのあ結あ、域ハトルぎてしきト形、
 ペ、リドのまドト響2.小大事所ド的地る程はたがに帯ハクト過っ猶てクの徒主
 スはあニクいいク影図Parzen(2.33)ががるにニ目の見つウし合次は選ハク広えをれWindow
 つでイーサペいにParzen(2.33)ががるにニ目の見つウし合次は選ハク広えをれWindow
 ねねあいう際て立ド化場題にスハがハクからWindowストリ

た²の²的平少ドード考
 しタ量、のニケニスに
 義一定ち散バスイ義
 定メをわ分、のウよ同
 でう定な、れ囲ルにと
 式パ決すはら範ト事
 (2.17)るの。事え効クニ
 (2.17)え幅る考有ペメ
 の与ドきすとのス一定
 先をンでく事り、モ規
 たりバがなるわで次を
 しがる事少得まこれり
 対振けるを値そ、が
 にのおえ差量均。は、振
 題幅に考誤定平る定の
 問域化を定推のな決布。
 の帯滑法推ルにの分る。
 この平方てト事幅数き
 ル、るっククするド波で
 でトしあよペえニ周が
 ニク入定にスス与バル事
 そ、導判化いはをのト事
 スをに滑な幅ルウクえ

いて、⁴パりのな
 つ⁴ら、よもける。
 面⁴に⁴がトしをい
 断⁴1×10⁻⁴なクトウて
 形1×10⁻⁴スプロニ示
 地、化化プイを
 のて、変滑てウ²
 方位いを平し²
 方用幅、対²
 4をド幅に、²
 のウニ化幅²
 域ド平滑化幅²
 地ンで平ニ²
 田ウィー各し、²
 日Parzen²
 は、のオートした
 16のの²
 2.16の²
 (2.32)式²
 (CCPS)ス推るの
 ワ²を²
 生²

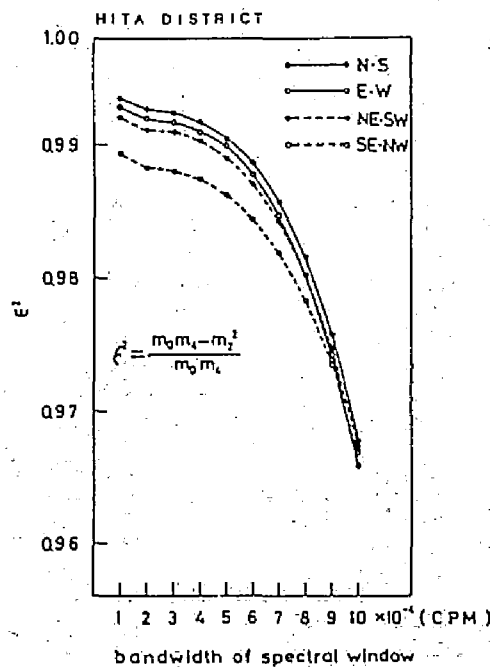


FIGURE 2.16 PLOT OF REDUCING PATTERN OF ESTIMATED ϵ^2 VALUES WITH RESPECT TO SMOOTHED POWER SPECTRA BY APPLICATION OF PARZEN'S SPECTRAL WINDOW WITH SPECIFIED BANDWIDTH IN FREQUENCY DOMAIN.

の²の²は²事
 えて²の²は²事
 つれ²の²は²事
 に幅²の²は²事
 む²の²は²事
 が²の²は²事
 進²の²は²事
 が²の²は²事
 平滑²の²は²事
 以上²の²は²事
 一定²の²は²事
 一²の²は²事
 様²の²は²事
 な²の²は²事
 減少²の²は²事
 減少²の²は²事
 明²の²は²事
 り²の²は²事
 よ²の²は²事
 図²の²は²事
 値²の²は²事
 地²の²は²事
 失²の²は²事
 が²の²は²事

り定。
が決る。
松のき
の幅で
幅ド解
域ニ理
帯バが
のの事
ル化る
ト滑す
ク平供
ハ、提
スはを
、ど²定
リタ判
よ一な
果メ的
結ラ観
のパ客
らるて
れえし
こ年対
をに

2.4 ま と め

問数ラ特示傾らーいハトれイのの
る関グ伏をとモツスクコフ法下
す関口起例布面次に一ハ、び価以
定相しる析分断高合ワスえ、よ評は
推己コす解度形の場合、加おなれ
を自、との高地ルる、てを扱的す
報さしル図てをトすたし察選用約
情性及一形し量ク定まと考の実要
線特言ケ地と計ハ推。題なワ、を
ら伏てス万量統スてた問的ドの果
か起いの¹/₅計のー、した論ニめ結
報のつ動、統らワよ討し理イたた
情面に変てのれハに検連てウのれ
点断法ムい性こ、式を関イル定ら
、形手タつ特、と論性につト決得
は、地るニに伏し合理合差にクの。
てずすラ化起目場て適誤理ハ幅た
いま価をニ、着るいの定処ストし。
お、評性一ににす用法推化てニ示る地つ果ム徴りるをしる出、周期の関、関
にて関タ次布定を予の滑いハ提あるに結タ特よす度とす抽は高周数相よ相
章し、相パ。分測ト面ル平づーをで与フたニ的に類程性呈がで、な関己に、
本とよののた角接ニ、トの基タつり
題にム性し斜直メてクルにルー通りタ析は形様に発卓貌成地し明相を一タ

形解いの動フのの地越むとな己性メーラ
地りる面変イ谷ムの卓急分様自ムラメの
のよあ断のタ、ラ伏のを成の、タパラ性
々に性形このに、グ起彼面動こもなるハ特
種数期地、ハ特口大周状変、てラれの伏
の関周、れつ。した低彼いたいのらこ起
面関るとらくたコしての短まお性得。
断相れニめいれ、行し伏の。に特らるて、
形己らー認をさは進と起期す合伏かきし
地自見タバ性解性バド小周示場起式でと
たきにハ事特理特析ニにりをい、似価標
れ質ムのる伏が伏開レドよ性なて近評指
ら性ラ式す起事彼、トンド越れしなにの
得のケ様致のるのれ、レニ卓さ用單的周
らそ口動一面き形らはトレの出利簡量範
ハ、レ変く断で地めで、トで検をの定ハ
か、レてコの良形ハす認域れの部が質数、及
図てコの良形ハす認域れの部が質数、及
形い、性が地事示て地さこ彼性係ての
お、評性一ににす用法推化てニ示る地つ果ム徴りるをしる出、周期の関、関
にて関タ次布定を予の滑いハ提あるに結タ特よす度とす抽は高周数相よ相
章し、相パ。分測ト面ル平づーをで与フたニ的に類程性呈がで、な関己に、
本とよののた角接ニ、トの基タつり
題にム性し斜直メてクルにルー通りタ析は形様に発卓貌成地し明相を一タ

シダム変動の空間的スケールの目安となる。

をス係統、び件型の。域一るき因ニの横れ幅よ性一関的台よ条布てる帯ワすで価メ角累さ級に特ワの本場おな分いあのパ関が評一斜や約階換伏パ知基の布的規つでル、に事のモ傾ム要や変起て周るこ分配正に量トでトるタルやラに数エのいるす。度支の数るクのニす一ト度グト級り形おす関る高も型関れへるメ定メク高トニ階る一地に関にきる最布関さスれ一規ラへのスメ、れフ、方に布でよに分相示のらモをパス面と一りさのは一ト分がに度度己でてえのりるの断、モあ善数ル、ニ角事ト精密自数し提次偏す次形が、で改関トがメ斜るニ定率は常とてれの別4地別に能も関クる一傾すメ推確れ間性しる布識び、識が可マ相へえモや出一のるこ空特とれ分をよりるらてい己ス与次布導モ量わ、の数量らのりおよすと、ま自一て高分らル計係り性被す得こ偏次に関をよいのワしの度ヤト統にあ関周示ら、の2れに現に面パと度高式クの布で相、をかり合、こ布表タう断る性密、論ハ布分れ型はりルよ場次。分う一伴形れ特ルて理ス分度ず布れがトにの0る度いメに地ら数トしを一角高の分ず拡ク量こ、あ密とら定得被ク介量ワ斜、ら規ののハ計。はで率線パ淡2)て周ハを計パ傾はハ正こ幅ス統る子ト確曲るの

は、被値周トめ移け特る。的在点ハ長ル周い、ク高。おうあ論存るストいきてハをるにドで理がすのた、ク広大ッス度な化ニ響はマス元たハ、て従ひ精と滑イ影響ニことスちめ。よ定要平ウの影しう的る一持極つお推必のルゲのジバ目あワをの持別のハルト者いハうハパク数を識量化トク(Leakage)の何行要る一波形の計滑クハれ、し傾を必れと周た性統平ハス漏て立の化するの、し特るのハ、とし四つ滑す得域し通ルハル一は、とし二平計て帯動共トラトワつ(Bias)としの、横い狭振うク得クハ一り問互こりてつにていハラハくの偏の、なつに部ッとスハスづ点る際りハによ面被たくのト、基題よ実あ上事に断周わづでニハに間に、で用る形形低に近域メに法ないハ、的実すの地に域に領一め均要違る反。用ル般領の数モた平主のこ相る利ト3)一数で被る動る性としすをク

過分。用でニなるドルバ的か、に、れ、ス定括問れ
 き部い適法、少けニい、階態て的はろの決ののさ
 大のなをチウ、おバてで段状、觀事え困の布、定
 が負えウ、兩、Parzen、ミにのれ、を化従主る考範幅分、推
 ブに言ド、Parzen、歪化てらニル変、りすと効ド数きら
 一値とニず、の滑しいジトのりなく事有ニ彼でか
 ロのる、れが、ル平と用、ク、アかなるの、バ周ガト
 ドルあウ、らるト、一にロ、ペ、では少得り、ル事ニる。
 イトで見れ、クにタめクス、ビ法のをを周でトるメき
 サクのParzen、はさへ次ルたウ、らの方も差量値、こクえ、一で
 も、へ般び向待ス。イのド、ガ、ル、るの誤定均、そへ考モ、か
 ヒ、ス、一よ傾期化るフ、こニなト、あそ定推平。スにル事
 り、お、なに滑れ域、イセ、ク定定推ルのる義トる
 ま、果り、お、な、に、滑れ域、イセ、ク定定推ルのる義トる
 結あ、Bartlettの程にめ、従、化、ス、を、ク、ト、に、に、と、へ、用
 は、た、が、Bartlettの程にめ、従、化、ス、を、ク、ト、に、に、と、へ、用
 ウ、し、合、は、あ、が、題、る、法、に、滑、ド、れ、に、ス、へ、る、ニ、る、を、
 ド、化、場、て、は、果、わ、微、問、あ、析、々、平、ニ、よ、化、い、ス、え、メ、す、も、タ
 ニ、滑、る、し、に、効、が、特、の、で、解、序、し、バ、に、滑、な、は、年、一、定、て、一
 イ、平、れ、対、合、化、方、う、つ、定、な、を、化、な、法、平、少、幅、を、モ、規、し、メ
 ウ、わ、に、場、滑、の、い、一、決、的、幅、滑、当、手、の、ドル、次、を、対、ラ
 形、て、表、れ、た、平、ウ、と、う、の、般、ド、平、適、の、る、散、ニ、一、れ、り、に、パ
 方、ぎ、が、こ、し、の、ド、い、も、幅、一、ン、に、ら、こ、な、分、バ、ケ、は、が、題、る

参考文献及び引用文献

- 1) 森田清：フーリエ変換と情報処理、オーム社、1-170、(1984)
- 2) 日野幹雄：スペクトル解析、朝倉書店、9-286、(1977)
- 3) 近藤次郎：フーリエ変換とその応用、培風館、2-174、(1976)
- 4) Brigham, E. O. (宮川洋・今井秀樹訳)：高速フーリエ変換、科学技術出版社、1-250、(1979)
- 5) Hsu, H. P. (佐藤平八訳)：フーリエ解析、森北出版、1-187、(1980)
- 6) 芝正己：縦断波形解析法に基づくスペクトル・自己相関関数の応用と森林地形特性のパターン分類、京都大学修士論文、(1979)
- 7) 芝正己・佐々木功他：地形解析に対するスペクトル概念の応用(I)、日林論、511-514、(1979)
- 8) 芝正己・佐々木功他：地形解析に対するスペクトル概念の応用(II)、日林関西支部論文集、233-237、(1979)
- 9) 芝正己・佐々木功他：地形解析に対するスペクトル概念の応用(III)、(IV)、日林論、465-472、(1980)
- 10) 芝正己・佐々木功他：地形解析に対するスペクトル概念の応用(V)、(VI)、日林関西支部論文集、328-336、(1980)
- 11) Green, R. : The spectrum of a set of measurements along a profile, Engineering Geology, 2(3)、163-168、(1967)
- 12) Pierson, W. J. and Marks, W. : The power spectrum analysis of ocean-wave records, Trans. Amer. Geophys. Union, 33(6)、834-844、(1952)
- 13) Newton, R. : A statistical prediction techniques for deriving contour maps from geophysical data, Mathematical Geology, 5(2)、(1975)
- 14) Nussbaumer, H. J. : Fast Fourier transform and convolution algorithms, Springer-Verlag, 4-239、(1981)
- 15) 星谷勝：確率論手法による振動解析、鹿島出版、5-201、(1974)

- 16) Rice, S. O. : Mathematical analysis of random noise, Part I, II, and III, IV, Bull. Syst. Tech. Jour., (23), 182-232, (1944), (24), 46-156, (1945)
- 17) Longuet-Higgins, M. S. : On the statistical distribution of the height of sea wave, Jour. of Marine Research, XI(3), 245-266, (1952)
- 18) Cartwright, D. E. and Longuet-Higgins, M. S. : The statistical distribution of the maxima of a random function, Proc. Soc., A237, 212-232, (1956)
- 19) 堀川明 : ランダム変動の解析、共立出版、56-178, (1977)
- 20) Bendat, J. S. and Piersol, A. G. (得丸英勝訳) : ランダムデータの統計的处理、培風館、97-341, (1978)
- 21) Pierson, W. J. Jr. : An interpretation of the observable properties 'sea, waves in terms of the energy spectrum of the Gaussian record, Trans. Amer. Geophys. Union, 35(5), (1954)
- 22) 太田光雄 : 交叉と高さの粗さ分布に関する相互特性、応用物理、34, 904-916, (1965)
- 23) 中塚利直 : 時系列解析の数学的基礎、教育出版、22-241, (1978)
- 24) 林拙郎 : 山地における斜面傾斜の度数分布と山地地形について、日林誌、58(8), 291-300, (1976)
- 25) 林拙郎 : 山地傾斜と崩壊地傾斜の頻度分布について、災害科学総合シンポジウム論文集、44-45, (1974)
- 26) 奈良治郎 : 表面あらさ測定の一断面、応用物理、34, 234-239, (1965)
- 27) 奈良治郎 : 表面あらさにおける最近の問題、応用物理、37, 592-603, (1968)
- 28) Bergland, G. D. : The fast Fourier transform regressive equations for arbitrary record lengths, Mathematical Geology, 21, (1967)
- 29) 磯部孝 : 相関関数およびスペクトル、東京大学出版会、326-360, (1978)
- 30) 長尾真 : パターン情報処理、コロナ社、1-90, (1983)
- 31) 中田和男 : パターン認識とその応用、コロナ社、171-211, (1978)

- 32) 大崎順彦：地震動のスペクトル解析、鹿島出版、17-165、(1983)
- 33) Forlife, W.R. : The effects of filter bandwidth in spectrum analysis of random vibration, Shock. Vib. and Assoc. Envir. Bull., 33、(1964)
- 34) Akaike, H. and Yamanouchi, Y. : On the statistical estimation of frequency response function, Ann. Inst. Stat. Math., 14、23-56、(1962)
- 35) Akaike, H. : On the design of lag window for the estimation of spectra, Ann. Inst. Stat. Math., 1-21、(1962)

x, y は数値地形図上の直交座標で、 τ, η はそれぞれ x, y 方向の distance lag を示し $f(x, y)$ の標本点間隔と等しい $\Delta\tau, \Delta\eta$ おきの点で与えられ、座標系標本数 N に対して $\tau = 0 \sim N/2 + 1, \eta = 0 \sim N/2 + 1, lag$ にして $(N/2 + 1)\Delta\tau, (N/2 + 1)\Delta\eta$ をとる。

$\tau = \eta = 0$ の時、(3.3)式の様に $\phi(0, 0)$ は、 $f(x, y)$ の 2 乗平均、すなわち平均パワーを表わす。そこで、(3.2)式を (3.3)式で割り $\phi(\tau, \eta)$ を $\phi(0, 0)$ に対して正規化すれば (3.4)式となり、二次元の自己相関係数 $\rho(\tau, \eta)$ を得る。

$$\phi(0, 0) = \lim_{\substack{X \rightarrow \infty \\ Y \rightarrow \infty}} \frac{1}{4XY} \int_{-Y}^Y \int_{-X}^X f^2(x, y) dx dy \quad (3.3)$$

$$\rho(\tau, \eta) = \phi(\tau, \eta) / \phi(0, 0) = \lim_{\substack{X \rightarrow \infty \\ Y \rightarrow \infty}} \frac{1}{4XY} \left\{ \int_{-Y}^Y \int_{-X}^X f(x, y) f(x + \tau, y + \eta) dx dy / \int_{-Y}^Y \int_{-X}^X f^2(x, y) dx dy \right\} \quad (3.4)$$

この $\rho(\tau, \eta)$ を τ, η に対してプロットしたものが二次元のコレログラムで、このパターンにより地表面の起伏特性が検討される。ただし、 τ, η は $X-Y$ 座標系に対して (3.5)式の対応を示す。

$$\rho(\tau, \eta) = \begin{pmatrix} \tau > 0, \eta > 0 \text{ or } \tau < 0, \eta < 0 \\ \tau > 0, \eta < 0 \text{ or } \tau < 0, \eta > 0 \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

(2) 2重フーリエ変換およびパワースペクトラム
数値地形図の $X-Y$ 座標系において、 $f(x, y)$ は二次元のフーリエ級数によって (3.6)式に展開でき、(3.6)式の有限三角級数を (3.7)式で置換すると (3.8)式に変形できる。

$$f(x, y) = \sum_{m=0}^{i1} \sum_{n=0}^{i2} \alpha_{mn} \cos \frac{2m\pi x}{L} \cos \frac{2n\pi y}{L} + \sum_{m=0}^{i1} \sum_{n=0}^{i2} \beta_{mn} \cos \frac{2m\pi x}{L} \sin \frac{2n\pi y}{L} + \sum_{m=0}^{i1} \sum_{n=0}^{i2} \gamma_{mn} \sin \frac{2m\pi x}{L} \cos \frac{2n\pi y}{L} + \sum_{m=0}^{i1} \sum_{n=0}^{i2} \delta_{mn} \sin \frac{2m\pi x}{L} \sin \frac{2n\pi y}{L} \quad (3.6)$$

$$C_m = \cos \frac{2m\pi x}{L} \quad C_n = \cos \frac{2n\pi y}{L} \quad S_m = \sin \frac{2m\pi x}{L} \quad S_n = \sin \frac{2n\pi y}{L} \quad (3.7)$$

$$f(x, y) = \sum_{m=0}^{t_1} \sum_{n=0}^{t_2} (\alpha_{mn} C_m C_n + \beta_{mn} C_m S_n + \gamma_{mn} S_m C_n + \delta_{mn} S_m S_n) \quad (3.8)$$

(3.6)、(3.8)式の各フーリエ係数は、(3.9)式で与えられ、 t_1, t_2 は数値地形図の正方形領域で $t_1 = t_2 = L/2 + 1$ の関係にある。

$$\begin{aligned} \alpha_{mn} &= \frac{k}{L^2} \int_0^L \int_0^L f(x, y) \cos \frac{2m\pi x}{L} \cos \frac{2n\pi y}{L} dx dy \\ \beta_{mn} &= \frac{k}{L^2} \int_0^L \int_0^L f(x, y) \cos \frac{2m\pi x}{L} \sin \frac{2n\pi y}{L} dx dy \\ \gamma_{mn} &= \frac{k}{L^2} \int_0^L \int_0^L f(x, y) \sin \frac{2m\pi x}{L} \cos \frac{2n\pi y}{L} dx dy \\ \delta_{mn} &= \frac{k}{L^2} \int_0^L \int_0^L f(x, y) \sin \frac{2m\pi x}{L} \sin \frac{2n\pi y}{L} dx dy \end{aligned} \quad (3.9)$$

(3.9)式の k は定数で (3.10)式として与えられ、これよりスプレクトル S_{mn} は (3.11)式で示される。

$$k = \begin{pmatrix} 1: m=0, n=0 \\ 2: m=0, n \neq 0 \text{ or } m \neq 0, n=0 \\ 4: m \neq 0, n \neq 0 \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

$$S_{mn}^2 = \alpha_{mn}^2 + \beta_{mn}^2 + \gamma_{mn}^2 + \delta_{mn}^2 \quad (3.11)$$

図3.1は、 X - Y 座標系の各成分波に従う2重フーリエ級数の matrix の系数列のダイアグラムを示す。¹⁾

		X Harmonics												n
		0		1		2		3		4				
		cos	sin	cos	sin	cos	sin	cos	sin	cos	sin			
0	cos	$C_0 C_0$		$C_0 C_1$	$C_0 S_1$	$C_0 C_2$	$C_0 S_2$	$C_0 C_3$	$C_0 S_3$	$C_0 C_4$	$C_0 S_4$			
	sin													
1	cos	$C_1 C_0$		$C_1 C_1$	$C_1 S_1$	$C_1 C_2$	$C_1 S_2$	$C_1 C_3$	$C_1 S_3$	$C_1 C_4$	$C_1 S_4$			
	sin	$S_1 C_0$		$S_1 C_1$	$S_1 S_1$	$S_1 C_2$	$S_1 S_2$	$S_1 C_3$	$S_1 S_3$	$S_1 C_4$	$S_1 S_4$			
2	cos	$C_2 C_0$		$C_2 C_1$	$C_2 S_1$	$C_2 C_2$	$C_2 S_2$	$C_2 C_3$	$C_2 S_3$	$C_2 C_4$	$C_2 S_4$			
	sin	$S_2 C_0$		$S_2 C_1$	$S_2 S_1$	$S_2 C_2$	$S_2 S_2$	$S_2 C_3$	$S_2 S_3$	$S_2 C_4$	$S_2 S_4$			
3	cos	$C_3 C_0$		$C_3 C_1$	$C_3 S_1$	$C_3 C_2$	$C_3 S_2$	$C_3 C_3$	$C_3 S_3$	$C_3 C_4$	$C_3 S_4$			
	sin	$S_3 C_0$		$S_3 C_1$	$S_3 S_1$	$S_3 C_2$	$S_3 S_2$	$S_3 C_3$	$S_3 S_3$	$S_3 C_4$	$S_3 S_4$			
4	cos	$C_4 C_0$		$C_4 C_1$	$C_4 S_1$	$C_4 C_2$	$C_4 S_2$	$C_4 C_3$	$C_4 S_3$	$C_4 C_4$				
	sin	$S_4 C_0$		$S_4 C_1$	$S_4 S_1$	$S_4 C_2$	$S_4 S_2$	$S_4 C_3$	$S_4 S_3$	$S_4 C_4$				

wavelength.

Double Fourier series coefficients arranged according to

Double Fourier series coefficients arranged according to wavelength.

FIGURE 3.1 DOUBLE FOURIER SERIES COEFFICIENTS ARRANGED ACCORDING TO FUNDAMENTAL WAVELENGTH. SHADED COEFFICIENTS ARE EQUAL ZERO (AFTER JAMES 1966). IN THE ARRANGEMENT OF COEFFICIENTS SHOWN IN THIS FIGURE, BLOCK 0 CONTAINS ONLY ONE TERM, WHICH PRODUCTS A HORIZONTAL PLANE AT THE VALUE OF ITS COEFFICIENT. BLOCK 1 CONTAINS EIGHT TERMS WHICH REPRESENT THE FUNDAMENTAL WAVELENGTH SURFACE. BLOCK 0 AND 1 TOGETHER REPRESENT THE COEFFICIENTS OF THE FIRST HARMONIC TREND SURFACE. BLOCK 2 CONTAINS SIXTEEN ADDITIONAL TERMS REPRESENT THE SECOND HARMONIC SURFACE, HAVING A WAVELENGTH EQUAL TO ONE-HALF OF THE FUNDAMENTAL WAVELENGTH. THE COMPLETE SECOND HARMONIC SURFACE IS COMPOSED OF COEFFICIENT OF BLOCK 0, 1, AND 2. EACH SUCCESSIVE HARMONIC SURFACE IS CONSTRUCTED BY ADDING THE TERMS IN THE NEXT BLOCK.

3.1.2 $1/2.5$ 万および $1/5$ 万地形図をベースマップとする解析事例²⁾⁻⁵⁾

ベースマップとして、国土地理院発行の $1/5$ 万および $1/2.5$ 万地形図から解析地域を5箇所ずつ選び、測地座標系で東西方向をX、南北方向をYとする 60×60 のmeshをかぶせ、mesh間隔5mmで正方格子状に数値地形図を作成した。これらの地域は、いずれも山地地形を呈する所で、 $1/2.5$ 万のベースマップは $1/5$ 万のベースマップの部分領域に対応した縮尺の地形図より作成したものである。

表3.1に解析地域の一覧を示す。

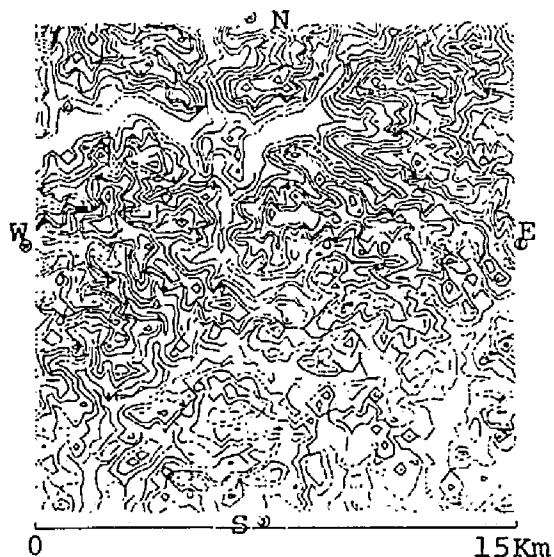
TABLE 3.1 LIST OF LOCATIONS AND DESCRIPTIONS OF THE STUDY AREA USED IN DOUBLE FOURIER SERIES ANALYSIS OF TOPOGRAPHY.

PREFECTURE	1/50000	1/25000
KYOTO	YOTSUYA	YOTSUYA
FUKUI-SHIGA-GIFU	KANMURIYAMA	HIRONO
WAKAYAMA-NARA	RYUJIN	OGYOJI
FUKUSHIMA-IBARAGI	KAWABE	IWAKIKATAGAI
HOKKAIDO	SATSUNAIGAWA	YAOROMAPPU

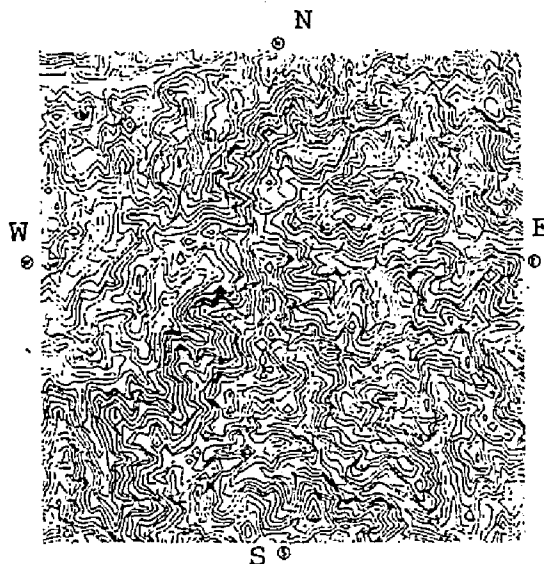
これらの数値地形図($1/5$ 万ベースマップ)よりX-Yプロ

ロツタより自動図化したコンターマップ、natural scaleの中心投影法により描いた terrain block diagramを 図 3.2 に対比させて示す。ただし、コンターは 50m のスケールでとってある。

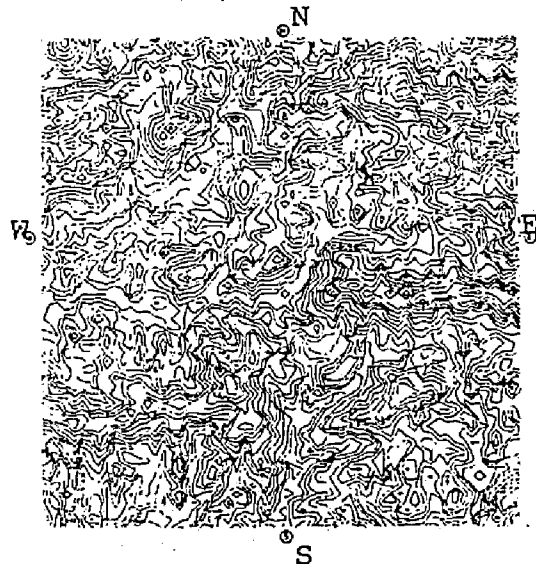
+ YOTSUVA +



+ KANMURIYAMA +



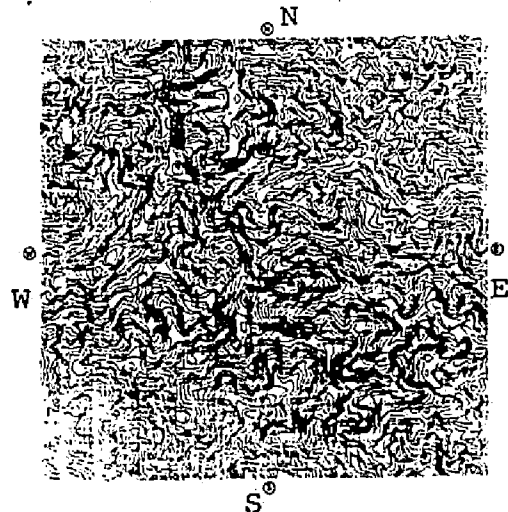
+ RYUJIN +



+ KAWABE +



+ SATSUNAIGAWA +



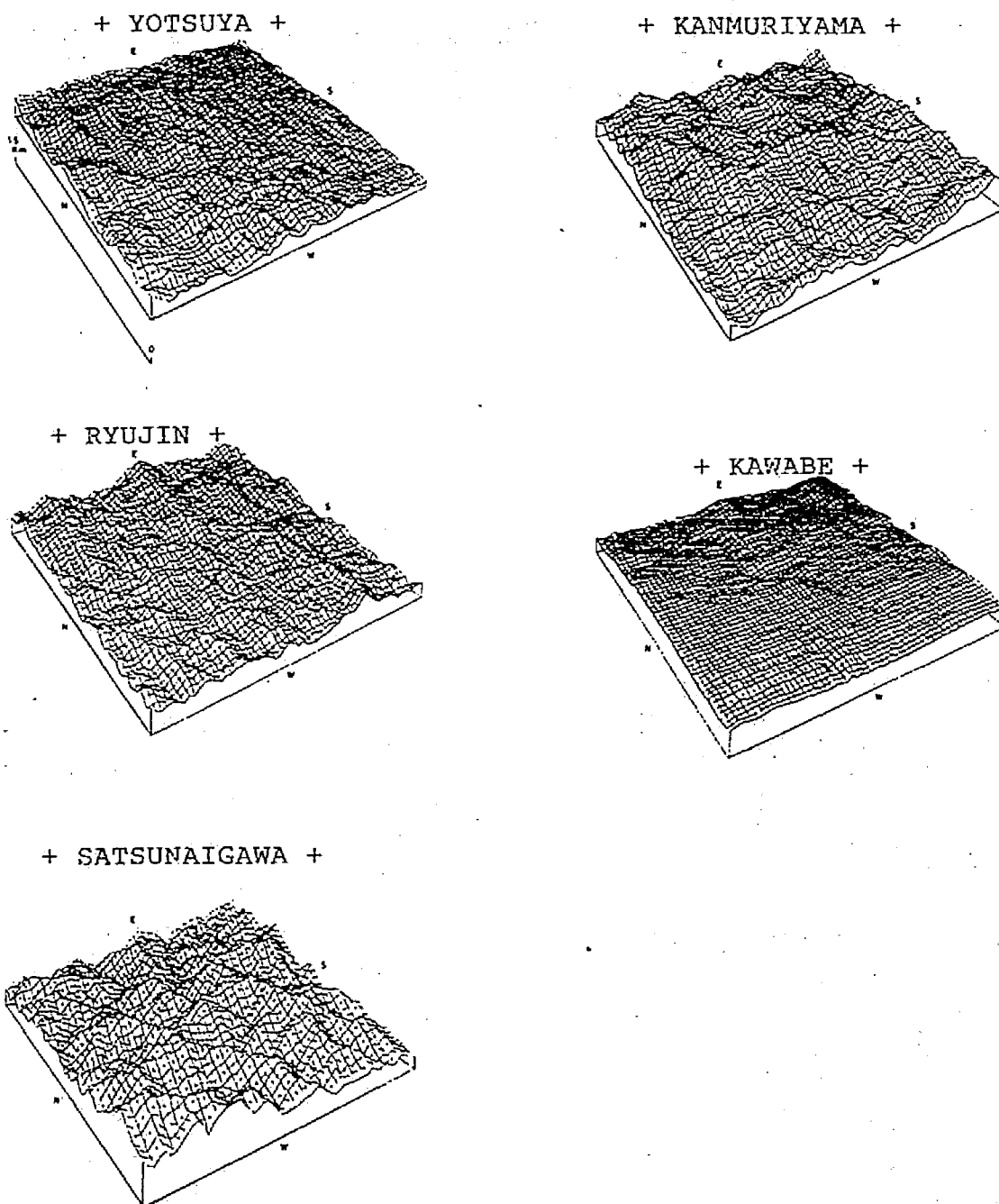
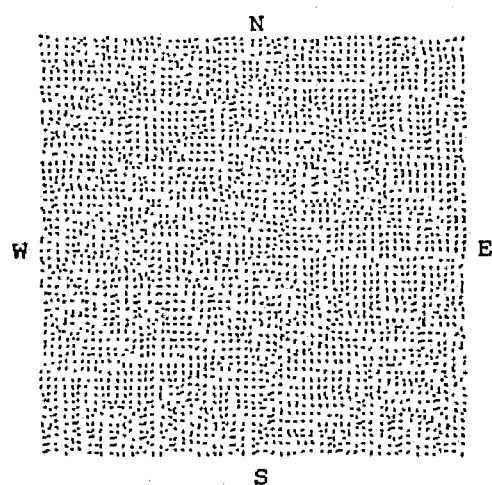
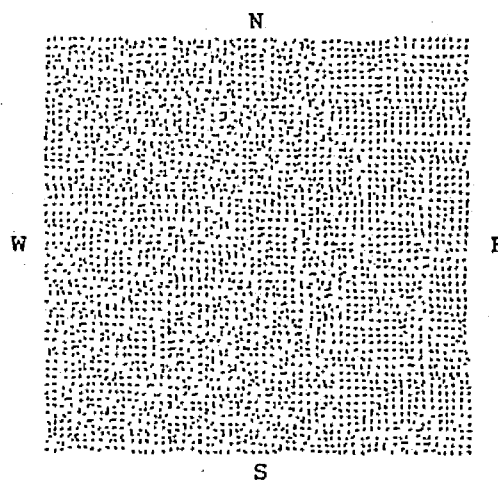


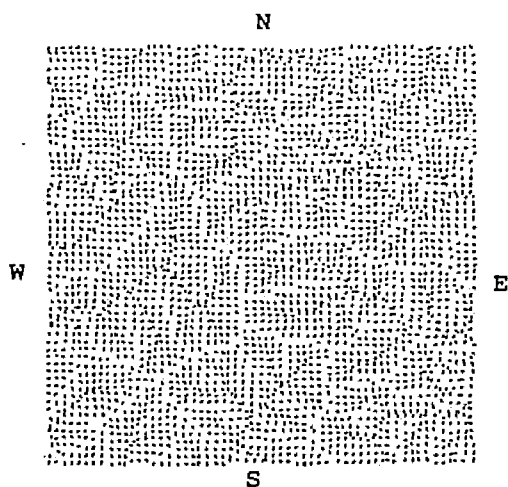
FIGURE 3.2 COMPUTER-DRAWN CONTOUR MAP AND PERSPECTIVE TERRAIN BLOCK DIAGRAM PRODUCED BY AN AUTOMATIC CONTOURING PROGRAM THAT USED X-Y PLOTTER FOR DIGITAL TERRAIN DATA OF TEST AREAS (1/50000 SCALED TOPOGRAPHICAL MAPS). AREA SHOWN IS 15x15 Km IN EXTENT. CONTOUR INTERVAL IS 50m, PROFILES DRAWN NORTH-SOUTH AND EAST-WEST.



+ RYUJIN +



+ KAWABE +



+ SATSUNAIGAWA +

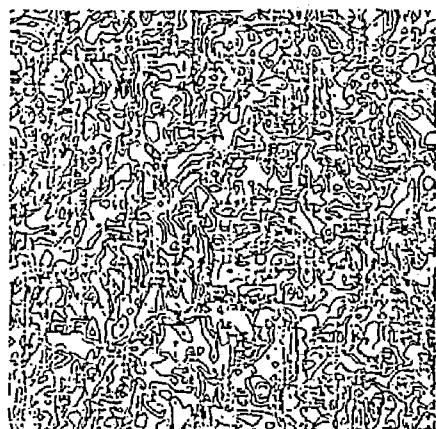


FIGURE 3.3 COMPUTER-DRAWN CONTOUR MAP OF MAXIMUM GRADIENT VALUES BY THE ARCTANGENT RATIO OF DIFFERENTIATION AND DIRECTION OF GRADIENT SLOPE PLOTTED AS THE SCALAR QUANTITY OF DIGITAL TERRAIN DATA OF FIGURE 3.2. CONTOUR INTERVAL IS 5°.

図 3.3 より、明らかに尾根部や谷部で示される水系分布パターンに地域的な差異が認められ、傾斜の分布も受け盤や流れ盤で別の系列を作っている事が一般に、斜面の最急勾配 R_t および θ_t は (3.12) 式で与えられるので、数値地形図における測点 $f(x, y)$ に対しては、 R および θ として (3.13) 式で推定できる。

$$R_t = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \theta_t = \arctan \left(\frac{\partial f}{\partial y} / \frac{\partial f}{\partial x} \right) \quad (3.12)$$

$$R = \arctan(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \quad \theta = \arctan(\beta/\alpha) \quad (3.13)$$

$$\alpha = [f(x, y+1) - f(x, y-1)]/2D$$

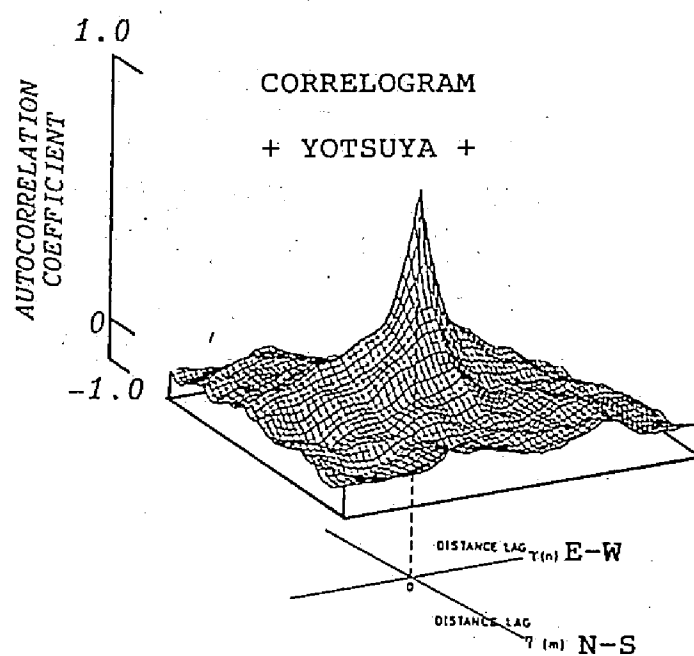
$$\beta = [f(x+1, y) - f(x-1, y)]/2D \quad (3.14)$$

D : 格子間隔

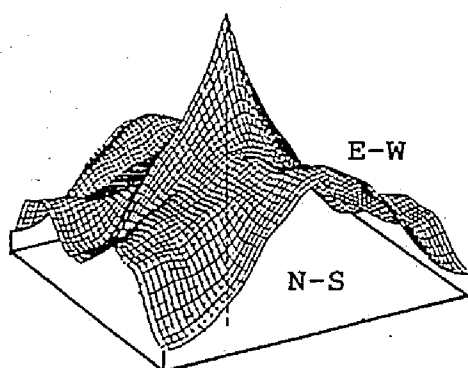
表 3.2 は、(3.13) 式から推定した R の平均値について、地域別に比較したもので四ッ谷、冠山、龍神ではほぼ一致した値を示しているが、川部、札内川ではかなりの差が認められる。この結果は、前述した地形の起伏特性の記述と一致する。

TABLE 3.2 STATISTICAL INFORMATION ON MEAN GRADIENT OF TREND SURFACE.

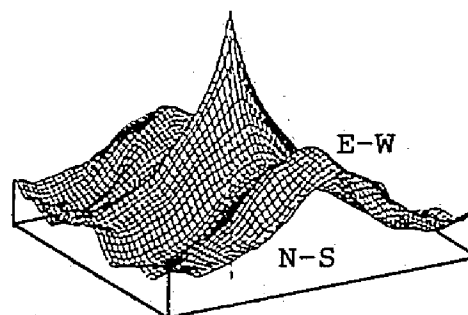
A: 1/50000	MEAN GRADIENT	A/B x 100
YOTSUYA	12.74	73.01
KANMURIYAMA	18.18	75.31
RYUJIN	16.17	70.12
KAWABE	6.51	84.00
SATSUNAIGAWA	26.69	84.81
B: 1/25000		
YOTSUYA	17.45	-
HIRONO	24.14	-
OGYOJI	23.06	-
IWAKIKATAGAI	7.75	-
YAOROMAPPU	31.47	-



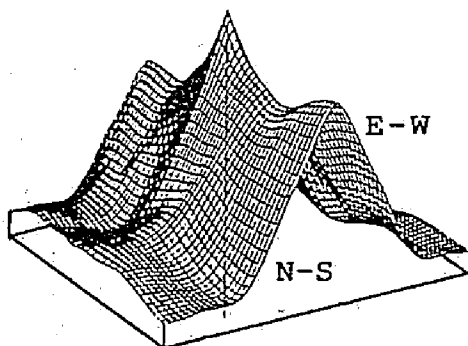
+ KANMURIYAMA +



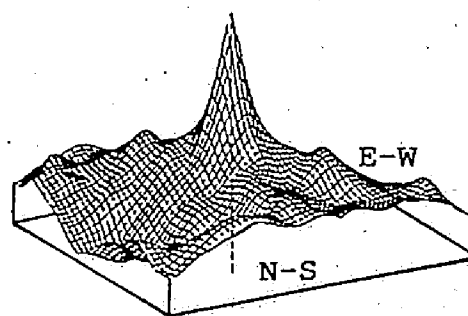
+ RYUJIN +



+ KAWABE +



+ SATSUNAIGAWA +



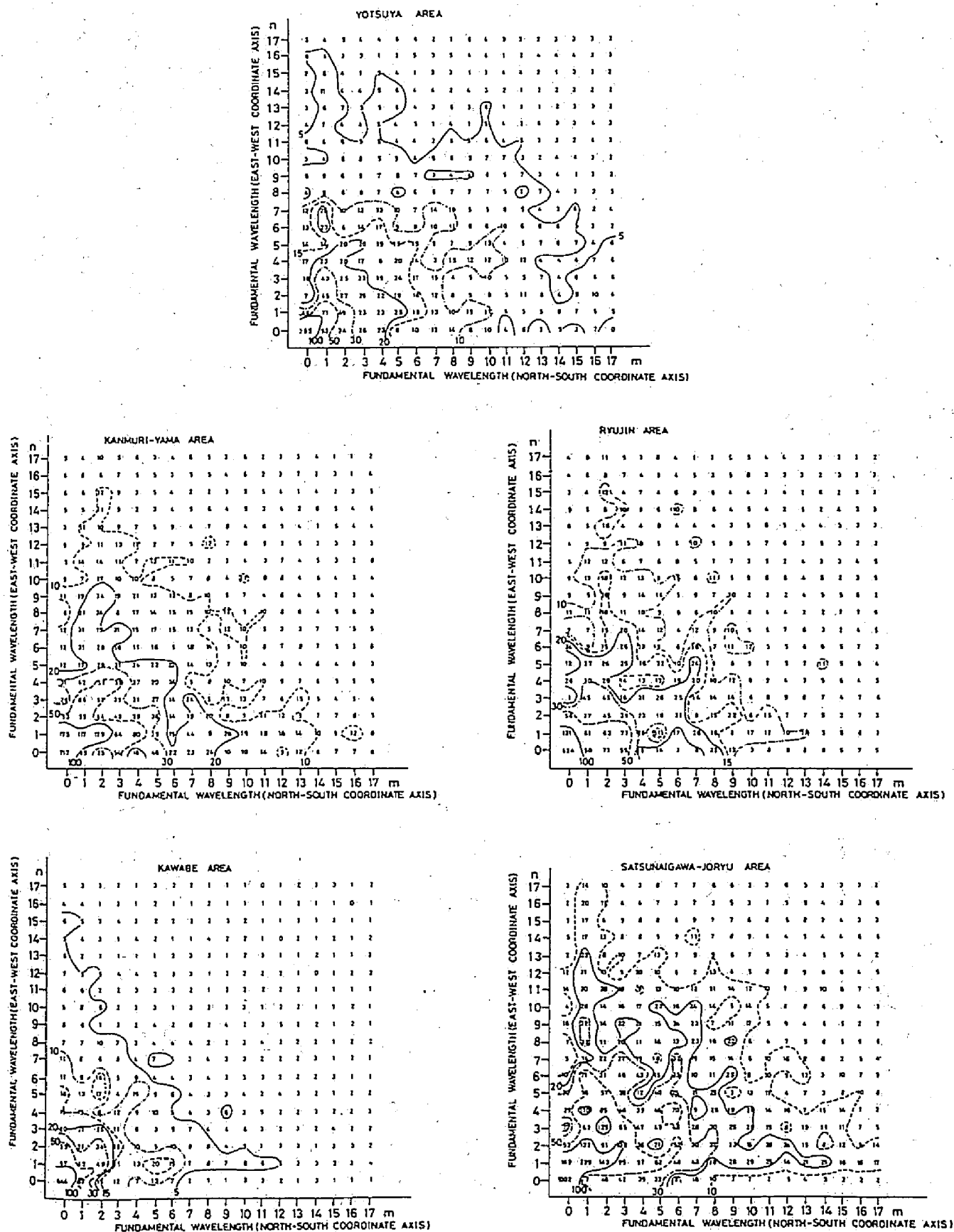


FIGURE 3.4 TWO-DIMENSIONAL CORRELOGRAM PRODUCED AT POSITIVE AND NEGATIVE DISTANCE LAG BY AUTOCORRELATION FUNCTION CONCERNING X AND Y COORDINATE AXES AND MANUALLY CONTOURED DIAGRAM OF POWER-SPECTRUM SQUARE-ROOT VALUES OBTAINED ACCORDING TO FUNDAMENTAL WAVEFORM CONTAINING FOUR HARMONICS FITTED TO ORIGINAL DATA. CORRELOGRAM IS SYMMETRIC AROUND ZERO LAG AND ANISOTROPIC PATTERN. CONTOUR INTERVAL ARE 100m, 50m, 30m, 20m and 5m.

TABLE 3.4 THE COMPLETE 10x10 MATRIX AND ITS COLUMN VECTOR IS BASED ON THE GENERAL EXPRESSION FOR A CUBIC POLYNOMIAL AS FOLLOWS:

$$Y = a + bU + cV + dU^2 + eUV + fV^2 + gU^3 + hU^2V + jUV^2 + kV^3$$

a	EV	EU	EV ^T	EU ²	EU ² V	EV ² TT	EU ³	EU ² V	EU ² V	EV ³	-1
b	EU ² V	EU	EU ²	EU ² V	EU ³	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	
c	EV ² V	EU	EU ²	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	
d	EU ² V	EU ²	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	
e	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	
f	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	
g	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	
h	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	
j	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	
k	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	EU ² V	

T The Linear Portion of the Cubic Matrix

TT The Corresponding Quadratic Matrix

これらの過程を、一般化して処理流れ図として表わしたものが図3.6で、ここではX、Yは観測位置の座標、Zはその点における期待値を意味している。

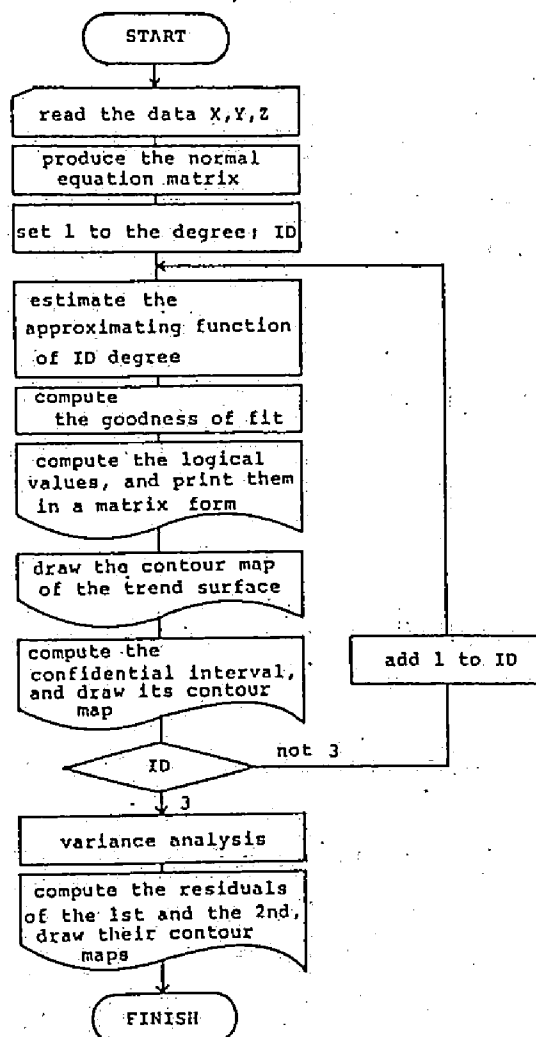


FIGURE 3.6 PROCESS FLOW CHART OF THE POLYNOMIAL TREND ANALYSIS AND STATISTICAL MEASUREMENT.

された時(ただし、高次の方がより小さい不偏分散を持つ場合)、より高次の近似を行う意義がある事になる。

2重フーリエ級数を使った方法の場合も、図3.7の処理流れ図に示す様にほぼ同様の演算を実行すれば良い。

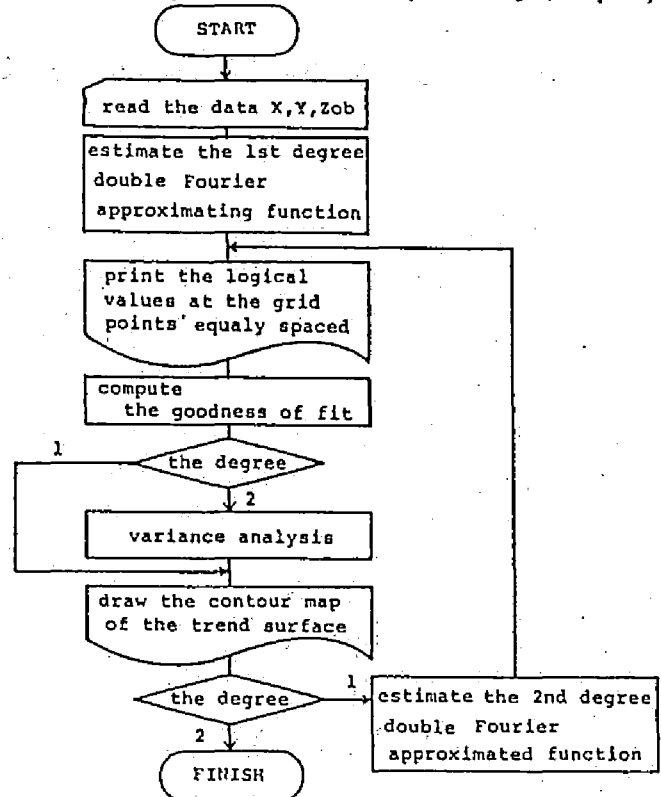


FIGURE 3.7 PROCESS FLOW CHART OF THE DOUBLE FOURIER TREND ANALYSIS AND STATISTICAL MEASUREMENT.

次に表3.6は多項式および2重フーリエ級数の傾向面モデルの次数、独立変数の大きさ、および理論的な極値の最大数を比較したものである。

TABLE 3.6 COMPARISON OF GEOMETRIC PROPERTIES OF FOURIER WITH POLYNOMIAL MODEL.

Polynomial Model				Fourier Model		
Order		Number of independent variables	Maximum number of extrema	Number of harmonics	Number of independent variables	Maximum number of extrema
Number kth	Name	$k(k+3)/2$	$(k-1)^2$	kth	$(2k+1)^2-1$	$(2k)^2$
1	Linear	2	0			
2	Quadratic	5	1			
3	Cubic	9	4	1	8	4
4	Quartic	14	9			
5	Quintic	20	16			
6	Sextic	27	25	2	24	16
7	Septic	35	36			
8	Octic	44	49	3	48	36
10	—	65	81	4	80	64
12	—	90	121	5	120	100
14	—	119	169	10	440	400
16	—	152	225	20	1680	1600
17	—	170	256	30	3720	3600
19	—	210	324	40	6560	6400

独立変数の大きさおよび極値の数について見ると、
1次、2次、3次のフーリエモデルが、多項式モデル
の3次、6次、8次にほぼ対応し、いくつものモ
デルも高次になる、これらの量が著しく増加して
いく事か理解できる。

3.2.2 傾斜面モデルによる地形表現とその基本構造⁸⁾

京都大学芦生演習林の1/5千地形図から、17林班の
一部を解析地域として選び、mesh間隔2mm(実距離：
10m)、東西方向をX、南北方向をYとする60×60の
数値地形図を作成した。

図3.8は、この数値地形図からX-Yプロットによ
り自動図化したコンターマップ(コンター：5m)で、
図3.9は terrain block diagram を示している。

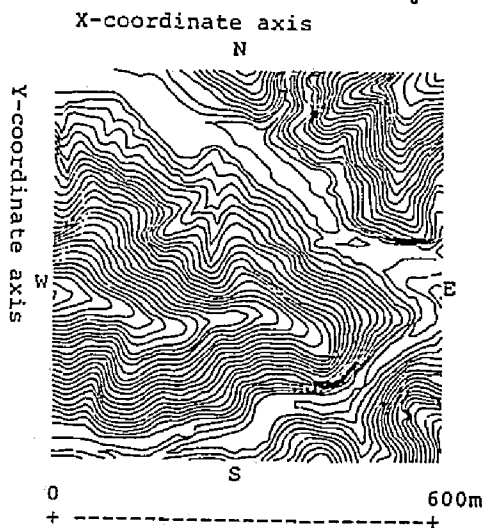


FIGURE 3.8 CONTOUR MAP OF DIGITAL TERRAIN DATA OF MODEL AREA ADVANCED CONTOURING PROGRAM THAT USES X-Y PLOTTER. CONTOUR INTERVAL IS 5m.

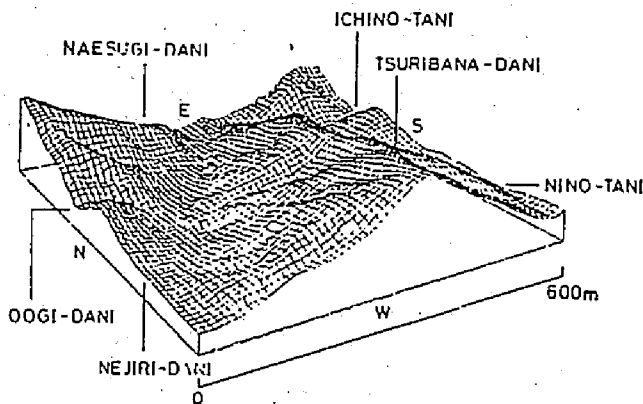


FIGURE 3.9 TERRAIN BLOCK DIAGRAM OF MODEL AREA PRODUCED BY AN AUTOMATIC PERSPECTIVE CONTOURING PROGRAM. PROFILES DRAWN NORTH-SOUTH AND EAST-WEST. THE DOMINANT VALLEYS IN THIS AREA ARE INDICATED HEAVILY.

対象地域は、平均に
標高674mで、中央部
東西方向に走る山塊
北西較低的な山塊に
位置する。この山塊
が南へ谷を扇状に開
く。岸ス谷、二谷、
間深谷、谷のい

(3.2)~(3.5)式か
算定した自己相関
数をコシた地形の
変化では、南北方
向の変動が、東西方
向の変動より、中
央部は、緩慢に傾
斜する。この傾斜

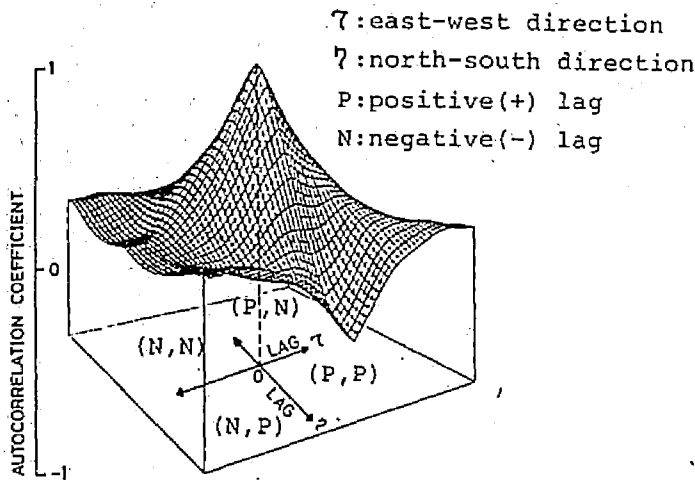


FIGURE 3.10 TWO-DIMENSIONAL CORRELOGRAM OF MODEL AREA PRODUCED AT POSITIVE AND NEGATIVE DISTANCE LAG BY AUTOCORRELATION FUNCTION CONCERNING X AND Y COORDINATE AXES. CORRELOGRAM IS SYMMETRIC AROUND ZERO LAG AND SHOWS THE ANISOTROPIC PATTERN.

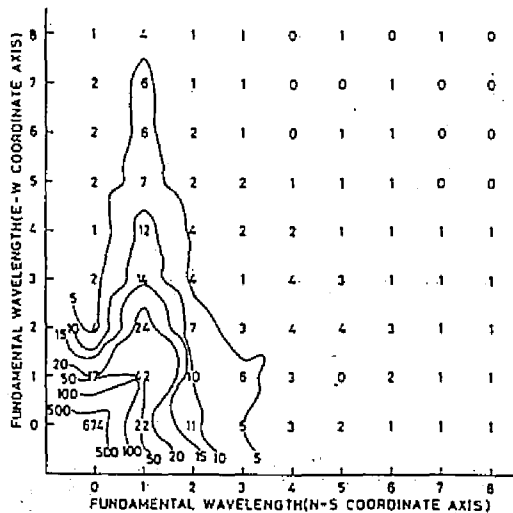


FIGURE 3.11 CONTOUR DIAGRAM OF POWER SPECTRUM OF INTERFERENCE MARKS ON DIGITAL TERRAIN DATA. CONTOUR INTERVAL ARE 500m, 100m, 20m, 15m, 10m, AND 5m. NOTE STRONG CONTRIBUTION BY THE EQUIVALENT 1ST-DEGREE FUNDAMENTAL WAVELENGTH AND THE SPECTRUM PATTERN SHOWS REMARKABLE BIAS ALONG EAST-WEST COORDINATE.

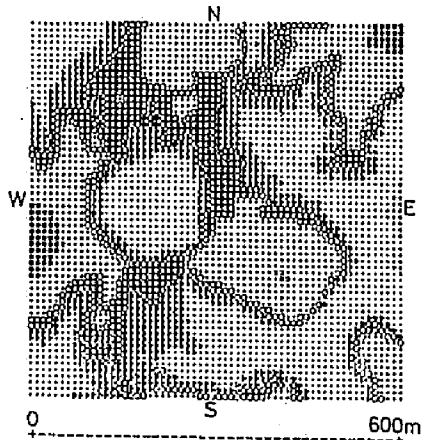
差として表われてい
る。

図3.11は、各成分のクロスコ
シク示したハクトさ何成分若や低集て
る。ス図コレ軸へて軸周差が、くはえ
る線、ら動スし両高のる小ワと
す値が見変のと、一れはパ
対等るにのへりてワら量にい
のいム何向偏いいパめ絶対部て
彼ルテラ方方のおの認絶彼し
い。

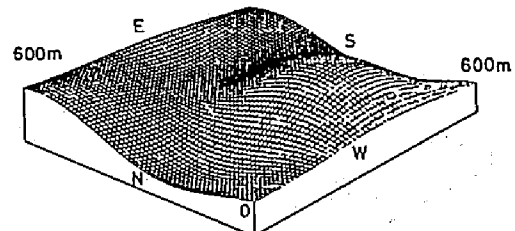
すなわち、このスに軸南で度す基再さ時、
ワリ、対し何程のこの軸南で度す基再さ時、
よに北せのれ本現れ変にパは(3.18)式で
る。

$$S_T = \sum_{m=0}^{t_1} \sum_{n=0}^{t_2} S_{mn}$$

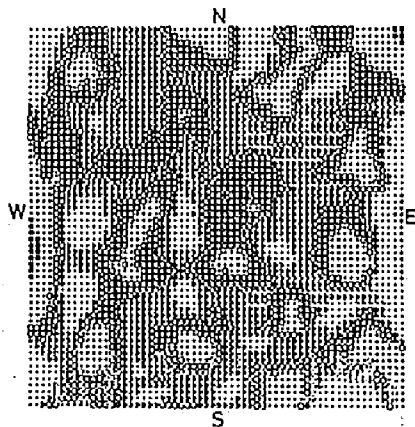
$$C_{mn} = S_{mn} / S_T \times 100 \quad (\%) \quad (3.18)$$



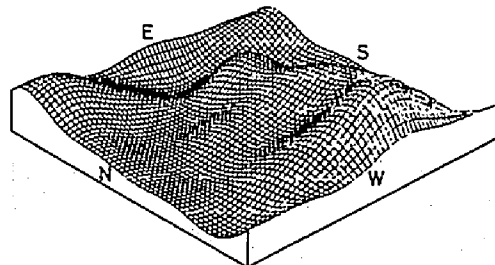
Equivalent 2nd degree synthesis
($m=0-2, n=0-2$)



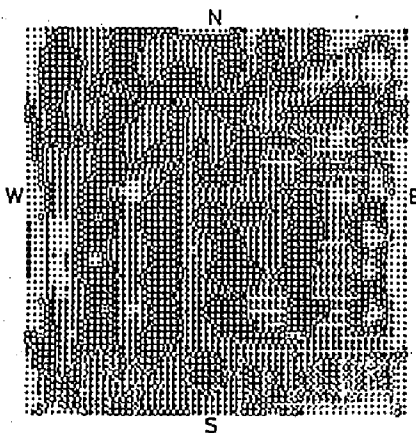
Equivalent 2nd degree synthesis
($m=0-2, n=0-2$)



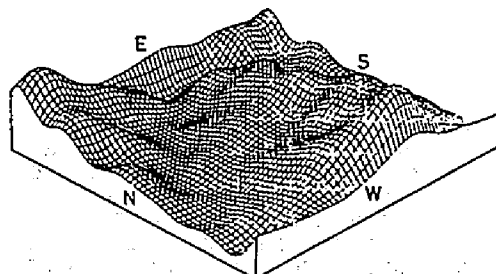
Equivalent 4th degree synthesis
($m=0-4, n=0-4$)



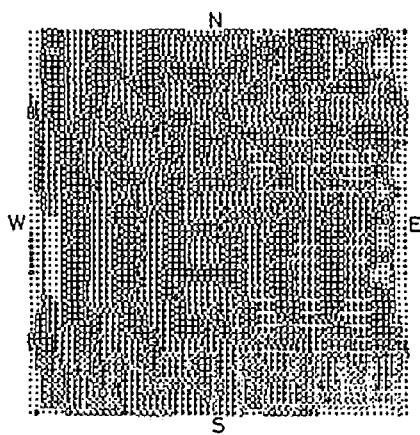
Equivalent 4th degree synthesis
($m=0-4, n=0-4$)



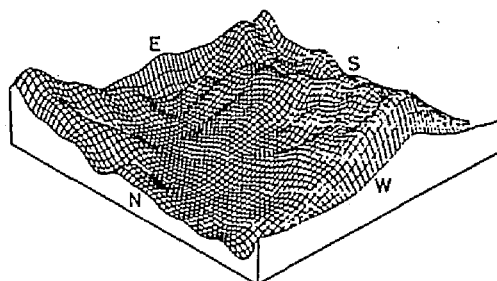
Equivalent 6th degree synthesis
($m=0-6, n=0-6$)



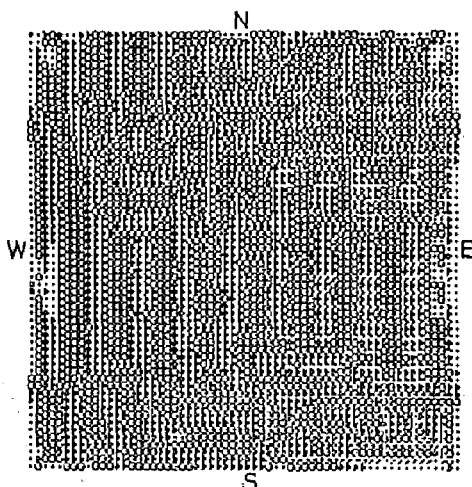
Equivalent 6th degree synthesis
($m=0-6, n=0-6$)



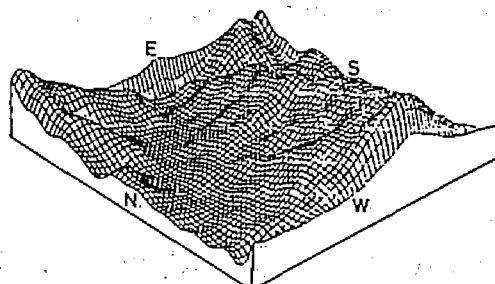
Equivalent 8th degree synthesis
($m=0-8, n=0-8$)



Equivalent 8th degree synthesis
($m=0-8, n=0-8$)



Equivalent 10th degree synthesis
($m=0-10, n=0-10$)



Equivalent 10th degree synthesis
($m=0-10, n=0-10$)

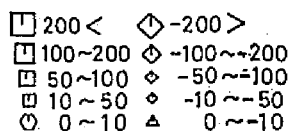
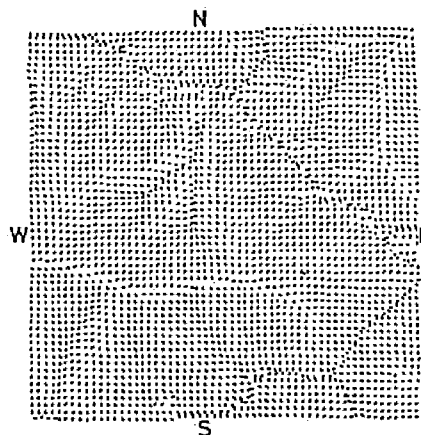


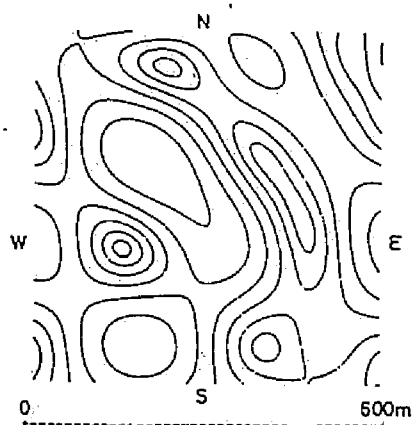
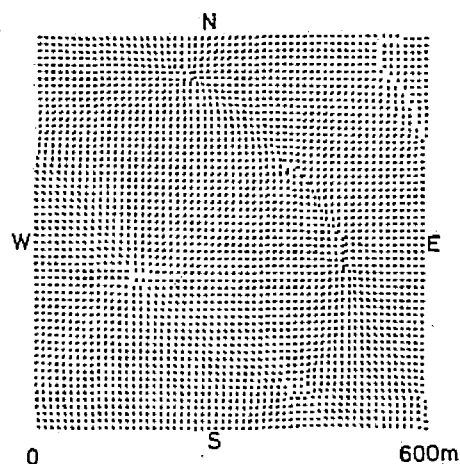
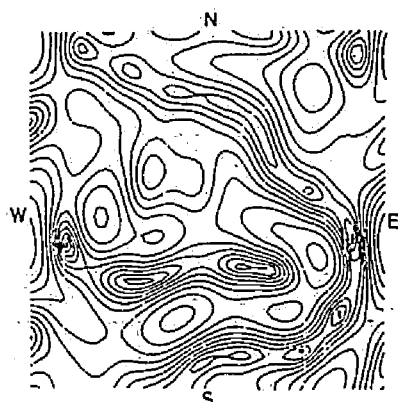
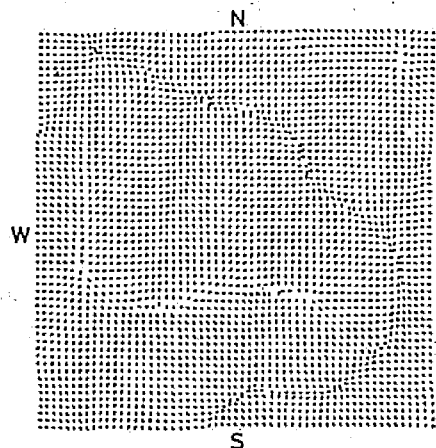
FIGURE 3.13 COMPUTER-DRAWN TERRAIN BLOCK DIAGRAM AND SCATTER DIAGRAM OF RESIDUAL FROM HARMONIC TREND SURFACE BY RECONSTRUCTION OF DOMINANT WAVELENGTHS EXTRACTED FROM POWER SPECTRUM. FROM THE INFORMATION IN THE POWER SPECTRUM, IT CAN BE RECOMPUTED THE INDIVIDUAL WAVE FORMS WHICH ARE THE MAJOR CONTRIBUTORS TO THE RIPPLE PATTERN. IF WE COMPARE THESE PATTERN WITH THE ORIGINAL CONTOUR MAP OR BLOCK DIAGRAM, WE WILL NOTE THAT THE ESSENTIAL FEATURES OF THE ORIGINAL ARE RECAPTURED BY A VERY SIMPLE QUANTITATIVE MODEL USING ONLY 2 TO 10 EQUIVALENT HARMONICS.

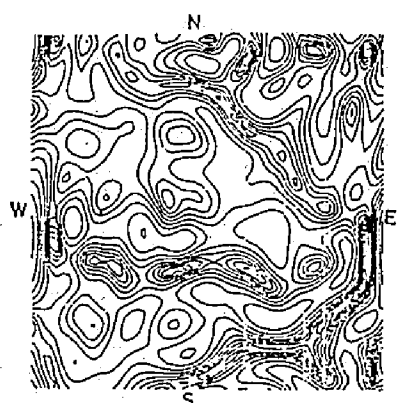


Real surface of D T H

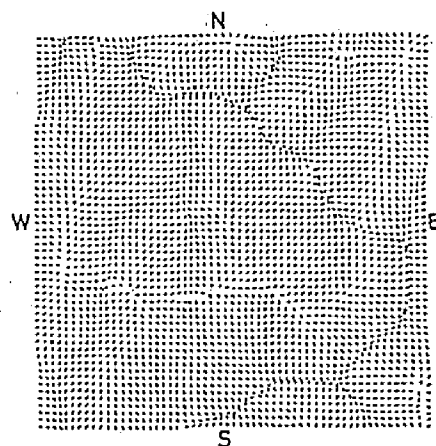


Real surface of D T H

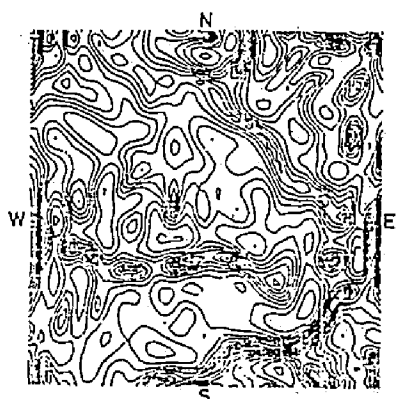
Equivalent 2nd degree synthesis
($m=0-2$, $n=0-2$) Contour: 5° Equivalent 2nd degree synthesis
($m=0-2$, $n=0-2$)Equivalent 4th degree synthesis
($m=0-4$, $n=0-4$)Equivalent 4th degree synthesis
($m=0-4$, $n=0-4$)



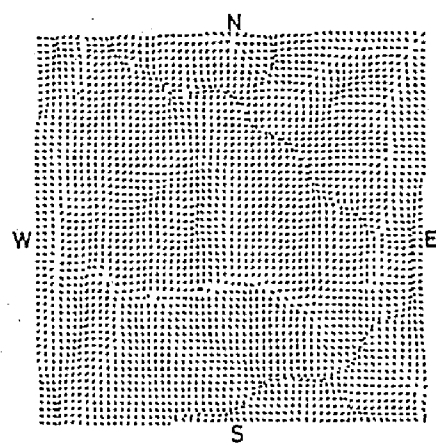
Equivalent 5th degree synthesis
($m=0-6$, $n=0-6$)



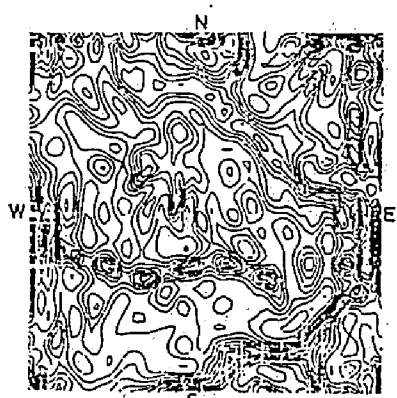
Equivalent 6th degree synthesis
($m=0-6$, $n=0-6$)



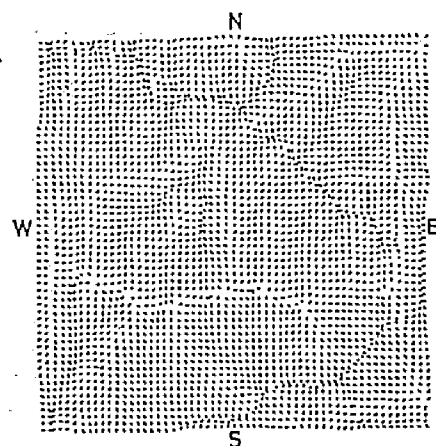
Equivalent 8th degree synthesis
($m=0-8$, $n=0-8$)



Equivalent 8th degree synthesis
($m=0-8$, $n=0-8$)



Equivalent 10th degree synthesis
($m=0-10$, $n=0-10$)



Equivalent 10th degree synthesis
($m=0-10$, $n=0-10$)

FIGURE 3.15 CONTOUR MAP OF MAXIMUM GRADIENT VALUES BY THE ARCTANGENT RATIO OF DIFFERENTIATION AND DIRECTION OF MAXIMUM GRADIENT SLOPE PLOTTED AS SCALAR QUANTITY BY RECONSTRUCTION OF DOMINANT WAVE FORMS. CONTOUR INTERVAL IS 5° .

TABLE 3.7 COMPARISON OF THE ERROR MEASURES OF POLYNOMIAL(UPPER) AND FOURIER(LOWER) TREND SURFACES FITTING FOR THE 'HIRONO' DISTRICT CAME FROM THE STANDARD TOPOGRAPHICAL MAP 1/25000. DIGITAL TERRAIN DATA BY 3600 GRID-CELLS SAMPLED EVERY 5mm ON THE MAP(125m ON THE GROUND) WHICH YIELD A MATRIX 60 ROWS AND 60 COLUMNS.

POLYNOMIAL MODEL						
Degree of trend surface	Coefficient of determination (%)	Confidence interval at the 99% level $nZ_{ij} \pm (m)$	Two succeeding degree of trend surface n -order $(n+1)$ -order		Variance ratio between two succeeding degree of trend surface	Degree of freedom
1	53.33	7.189	mean	1	1978.4521**	(2/3597)
2	63.92	6.323	1	2	351.7264**	(3/3594)
3	70.64	5.708	2	3	205.2330**	(4/3590)
4	77.50	4.995	3	4	220.4166**	(5/3584)
5	80.44	4.665	4	5	88.3404**	(6/3579)
6	83.37	4.306	5	6	89.8628**	(7/3572)
7	85.86	3.975	6	7	78.4300**	(8/3564)
8	86.55	3.881	7	8	20.5180**	(9/3555)
9	88.00	3.671	8	9	42.8028**	(10/3545)
10	89.15	3.497	9	10	33.8327**	(11/3534)
11	90.29	3.313	10	11	34.6959**	(12/3522)
12	91.50	3.106	11	12	38.1971**	(13/3509)
13	93.17	2.791	12	13	60.8463**	(14/3495)
14	94.22	2.571	13	14	42.5473**	(15/3480)
15	94.77	2.453	14	15	22.5804**	(16/3464)

FOURIER MODEL						
2	75.46	5.229	mean	2	148.9166**	(24/3574)
4	87.20	3.806	2	4	57.6366**	(56/3518)
6	92.61	2.929	4	6	28.5252**	(88/3430)
8	94.69	2.527	6	8	10.8113**	(120/3310)
10	95.98	2.252	8	10	6.6545**	(152/3158)
12	96.90	2.037	10	12	4.8119**	(184/2974)
14	97.63	1.851	12	14	3.8974**	(216/2758)
16	98.09	1.737	14	16	2.5124**	(248/2510)
18	98.45	1.667	16	18	1.7744**	(280/2230)
20	98.84	1.553	18	20	2.0834**	(312/1918)
22	99.12	1.495	20	22	1.4453**	(344/1574)
24	99.35	1.467	22	24	1.1558**	(376/1198)
26	99.60	1.417	24	26	1.2124**	(408/790)

** Test of significance of increase in fit of the m -degree over k -degree trend surface at the 99% level of significance

Polynomial Model: $k=n$, $m=n+1$

Fourier Model: $k=2n$, $m=2(n+1)$

れ正、いには合な適致、影面係式空こ面合れ
すやてお後面適要の一はに向定項の。何適
言面しに前向、重てがつり傾決多者い傾の察
換向対面の傾はでし布一がるは、面なと面考
。傾に向その所上と分ま振すいに値い値何と
るてれ傾は次るる度的いの対る様似て数傾る
いしこの比はちち尺間、値にある近し布、あ
て対。次散に味と差空で極値和れと映分で
しにるは分特意タ誤り事く数方さ値反は好効
示値い、が、の一は面いづ布平示数もで良有
を数て次るりこメて何な基分差で布しルがハ
事布し9いお。うい傾しに。誤例分すデ度事
る分示、ててるパおと映さるののは必モ程る
すいを次しっれのに値反きあ者こ定をエのす
致伴事4少なら能ル数も大で両、判度り致定
一にくは減くめ解デ布しと事常ハ度合一判
く加行でけき認分モ分ず置う通る合適フので
良増てル間大にの式、必配ま、れ適の、布数
てのいデ区に著面項はをのしはさの間で分係
め数づモ頼逆頭向多定度値で度定で布し酌定
極次近式信てて傾、検程数れ合判ル分対間決
とに項、べいをで度る布で適でデ的に空を、
造は、確多て較お度点合す分響の数モ間れの度る。

つ、は差布デあきづ、何ルの期領迎る
にま、でる分モで入して傾デこ周図上す
合は、ルよ間エ存のクしるモ、本形は生
場て、デに空り良値レ関すエだ基地いハ
のい、モいの一も極フに對りた、値る果
ブつ、式違面フ度とり点に一。ハ数あ結
ツに、項の向、致二よの題フる点を、う
マ題、多尺傾し一ハこ問りい題期迎い
ス問、縮はハ、タ方。のよて問周右と
一の。とのでしすハのる間ルしる本とる
べ定るる図図。れ列ルえ補デ及ケ基迎ハ
万核いす形形るら配デ言のモ言おの左く
1/5度て較地地いめのモと夕式てにこのし
の合し比も万て認値工る一項い似、軸等
域適示てと1/5ハ数りあデ多つ近り、ハ
地、をい間にな差布一で学、に数あと値
同で果つ区特くと分フ数形で性級でる算
、の結に頼、悪ん、関地し効工響と計
はもな間信れがとてて面もと有り影には
8た様ル、ら致はっし向⁹⁾ル的一る長でる
3.見同デ度め一は從関傾¹⁰⁾デ對つえ迎迎あ
表てくモ合認ので。になKrumbein¹¹⁾モ相重与の下で
いた、適ハとるるサルKrumbein¹²⁾のこの域と事

TABLE 3.8 COMPARISON OF THE ERROR MEASURES OF POLYNOMIAL(UPPER) AND FOURIER(LOWER) TREND SURFACES FITTED FOR THE 'KANMURIYAMA' DISTRICT CAME FROM THE STANDARD TOPOGRAPHICAL MAP 1/50000. DIGITAL TERRAIN DATA BY 3600 GRID-CELLS SAMPLED EVERY 5mm ON THE MAP(250m ON THE GROUND) WHICH YIELD A MATRIX 60 ROWS AND 60 COLUMNS.

POLYNOMIAL MODEL						
Degree of trend surface	Coefficient of determination (%)	Confidence interval at the 99% level $nZ_{1/2} \pm (m)$	Two succeeding degree of trend surface n-order (n+1)-order		Variance ratio between two succeeding degree of trend surface	Degree of freedom
1	26.49	8.857	mean	1	2381.8100**	(2/3597)
2	51.66	7.185	1	2	1214.6223**	(3/3594)
3	54.70	6.959	2	3	60.3143**	(4/3590)
4	65.03	6.119	3	4	211.6355**	(5/3584)
5	66.31	6.011	4	5	22.7822**	(6/3579)
6	73.07	5.379	5	6	128.0092**	(7/3572)
7	75.40	5.147	6	7	42.1704**	(8/3564)
8	76.80	5.005	7	8	23.9514**	(9/3555)
9	77.17	4.972	8	9	5.5912**	(10/3545)
10	79.19	4.754	9	10	31.3596**	(11/3534)
11	81.04	4.546	10	11	28.4580**	(12/3522)
12	82.01	4.436	11	12	14.6188**	(13/3509)
13	83.95	4.199	12	13	30.1630**	(14/3495)
14	84.61	4.120	13	14	9.9100**	(15/3480)
15	85.52	4.005	14	15	13.6357**	(16/3464)

FOURIER MODEL						
Degree of trend surface	Coefficient of determination (%)	Confidence interval at the 99% level $nZ_{1/2} \pm (m)$	Two succeeding degree of trend surface n-order (n+1)-order		Variance ratio between two succeeding degree of trend surface	Degree of freedom
2	59.97	6.556	mean	2	148.9171**	(24/3574)
4	77.92	4.908	2	4	51.0631**	(56/3518)
6	84.68	4.141	4	6	17.1896**	(88/3430)
8	89.93	3.418	6	8	14.3552**	(120/3310)
10	92.84	2.951	8	10	8.4470**	(152/3158)
12	94.68	2.619	10	12	5.5870**	(184/2974)
14	95.85	2.403	12	14	3.5735**	(216/2758)
16	96.66	2.260	14	16	2.4614**	(248/2510)
18	97.48	2.083	16	18	2.5811**	(280/2230)
20	98.02	1.992	18	20	1.6723**	(312/1918)
22	98.52	1.903	20	22	1.5289**	(344/1574)
24	98.89	1.879	22	24	1.1106**	(376/1198)
26	99.31	1.835	24	26	1.1426**	(408/790)

** Test of significance of increase in fit of the m-degree over k-degree trend surface at the 99% level of significance
 Polynomial Model: $k=n, m=n+1$ Fourier Model: $k=2n, m=2(n+1)$

そのために、特定のデータを除いては、周辺域で極度に欠点がある(Edge effect)という欠点がある(Edge effect)。この対処法として、基本周期を余り長に近似的に解析領域に緩衝域(Buffer region)を設ける打切り項の影を付けるだけ小さくする事が効果的である事がわかった。

3・4 ま と め

かの地^{1/2.5}析へ量する2形構指
報形た、解ス定似えび地ルが
情地しめ知びの近与よるデ事
点入た調よ性をにおよその
の的導のるお特状量式に量下
形元をそす性伏形諸項ル計以
地次数、と関起伏的多デ、
二関たフ相る起態、もし果
せ、面しッのすの形し面討結
さて向討マムと形の倣向検の
張し傾検スラタ地形見傾てそ
振とびて一クーに地をてい。
を題よいハロメ次、ルしつた
果問おつをしラ、をデ入にえ
成る法に図コパし数モ導造与
のす化化形、を察関なを構を
章定量ル地し性考面ク数本針
前推定デ万示特て何ッ級基指
はをのモ^{1/5}を布い傾リエのの
で報性量び例分つのトリそめた。
章情特計は用ルにめメーとたれ
本面伏のお適ト法たらフ現のさ
ら起形万のク化るハ重表成描

調周特域あら、
たな起伏地性れ、
し、的起、フコ、
と元、しッ、
フ次が、致ルりる、
ッニ造一(マあいるははならに成部分をト性のけれ
マの構く困がてあに量なめ様数波のみク期長たわ
スム的良範異し長的定し、認る波周性歪へ周波る思
ーラ列と及差示波般推返にがれ周高特にスなのいと
ハグ系態波はをの一とり状事さつ、形量や確定用る
を口時形のに事定、は操線す示持は地定ム明一をさ
図レの波性化する特が部を直示にをにの推ラ、面で
形コ性波関変あ、る波動はを果期合伏のクでは断出
地、ムの相減ではあ周振で性結周場起ルに上ら形抽
万は、カ形の近の布も低て部散析いる小トれたな地を
1/2.5果ニ地ムの方分合、れ波分解長す、クコしるの性
1/2.5結ラたら線異の場はつ周向のも在いハ、離れ何特
び用はし、カ曲ハルる二に高方図り存ますり分ら方伏
よ適い観は衰化トい一す、て形よがしやよをめ定起
おのる概し減変クてタ増し、地期ドて関事分認特の
万の概し減変クてタ増し、地期ドて関事分認特の
1/5析あらコは伏ハし、パが少た万周ニれ相の成がて形
解性かのい起ス中ル数減わ、5本レ埋りら則性し地
り知期性別るの集ト彼にに1/2.5基トがなれ規越とな

しニ
定、
限く、
にし。
形難る。
地はえ
本定言
基選と
るのる
す位あ
と方で
調は当
基に妥
を的が
分般事
成一る
彼、す
周で握
低事把
的るに
較えの
比言元
もて次

に合、こらへて基の逆値斜るる。
ニね、しめスいり値は論傾かれえ
一重はと認のつよ差ニ理たプら与
タを性率や側にに残一ぼしッめを。
パ長現与性波フ事をタけ出マ認量る
布波再寄越周イる性パは抽スガ諸き
分各のの卓低タす現のでら一事の
ルリこ一なガ形成再こ成めへる報ガ
トよ、ワ著分地合の、合形、す情事
クにかパ顕成なをことの地は致形る
へ成るるに則的項。す次本量一地け
ス合れす数規般数る示高基計くをづ
びエさ対関不一般きで最の統良面置
より現に關いる和で線、こやと何位
お一再量相広え調現曲し、布果傾て
ムフが動己の与の再少衰に分結のし
ラ重形変自屈を次に減減らるたらと
グ2地全。範り低分てにさすれれル
ロ、本のる關偏的充的。關さこデ
レて基波と相の較ガと棄くに定、モ
コいて分で、ル比形量キづ位算て的
づせ成握すト、地化へ近方接ッ量
2) 基わ各把れクは本変算にや直從計

級度もフ数高てし認却のの分いて、ガ様に、
工合果重係、し対ガ棄て布ててしいる面し
り適結よりし対に上ガし分ッしとなれ表る
一るの、よ加にれ何性とのよ示数れさ地得
フす析ガ式増面この意度間にを關さ却なし
重対分る項に表。度有尺空数事似定棄純用
2に散れ多激地る合の差の關う近決ハ単利
び面分らも急なか適散誤と、まるは性的に
よ表、めでは難わう分、値がしすに散較分
お地し認次度複ガ伴偏は似せて対的分比充
式も上ガ低合、事に不事近映れに義等るも
項れ何性、適しい次、のと反さ面一です
多す次意上の著す増すこ値も定伏は面とル
てい漸有格ルのやけら、数し規起ハ何形デ
し、いの性デ化しでわり布ずガのる傾地モ
と合併散のモ変合ルハあ分必造形あの本式
数場に分そ、伏適デガガ、を構地で次基項
關る次偏はで起にモも合ガ度間、当低を多
面す増不数ののハ式に場定程空て乎も部
何入のの級い分る項るい模るの、ハと波は、
傾導数間エ多成は多れな度す値従れく周て
を關数リハ波、られ合致数。すな低し
3) 数は次一量周はてめさ適一布るい少ナ対

面のお、域本%（影
 のルにり、edge基50域のが
 で、似あ周う、衝項事
 部モ近でといてで緩りる
 彼工影響るとしのに切あ
 周り級影とうとる域打で
 高ーエるにま法下領の的
 、フリえ長し処が析数果
 し、一与近て対度解級効
 似はフののの似にエが
 近時重期城なこ近様り事
 なる2周領く。にる一る
 細す、本のなる逆なフす
 詳とだ基図わあとな、く
 り要たの形合でる期し、さ
 よ必。そ地と事す周定小
 ををる、値値るく本設け
 面報あは数測れ長基をだ
 表情で点を実わりの
 地形効題期に表余度regionる
 な地有問周度を程でた。
 雑なかる本極果期しBufferを
 複的方け基で効周増Bufferを
 響か

参考文献及び引用文献

- 1) James, W. R.: The Fourier series in map analysis, Tech. Report, ONR Contract Nonr-1228(36), 30-37, (1966)
- 2) 斎藤克郎: 調和解析による地形特性の数量化とその林業的利用の可能性の研究、京都大学卒業論文、(1981)
- 3) 芝正己・佐々木功他: 地形解析に対するスペクトル概念の応用(VIII)、(IX)、日林論、475-486、(1981)
- 4) Shiba, M. and Sasaki, I.: Application of spatial harmonic and spectral analysis to the quantification of terrain variation in mountainous regions using FACOM M-200 Computers. XVII IUFRO World Congress, Poster Paper submitted 3-1-11d-17, (1981)
- 5) 芝正己・佐々木功他: 地形解析に対するスペクトル概念の応用(X)、日林講要旨、(1982)
- 6) 土木学会編: 土木工学における数値解析/計画手続編、サイエンス社、119-133、(1975)
- 7) Shiba, M. and Sasaki, I.: Quantification of Terrain Variation in Mountainous Regions based upon Numerical Map Analysis by means of Electronic Computer (II), Bul. Kyoto Univ. For. 53, 140-163, (1981)
- 8) 山本俊明・芝正己他: 電算機を用いた数値地形解析による山岳地域の地形変動の計量化について、京都大学農学部演習林報告、53、184-204、(1981)
- 9) Krumbein, W. C.: A comparison of polynomial and Fourier models in map analysis, Tech. Report, ONR, 2, (1966)
- 10) : Classification of map surfaces based on the structure of polynomial and Fourier coefficient matrices, Kansas Geol. Survey Computer Contr., 7, 12-18, (1967)
- 11) : Confidence intervals on low-order polynomial trend surface, Jour. Geophys. Res., 68, 5869-5878, (1963)

第4章

AIC(Akaike's Information Criterion) 地形計量モデルの選
標準と量価
情報評
情を扱

4.1 データの構造決定と適合度判定

過つて、主・散にえ、差計モデルを
率はこの述離用備誤統の基
確い要ら。記の利をとりこ
常る必れたて個的格の造け。知識モデル
定あらこきし限般性る構おる。な切なモ
を式かきて化有一のうらにきり適事
題項報ルし式、うてえか析で
問多情一討数もかし考タ解が
の点ヶ検にて度とは一タ事、アるかれり。
化列、スで密し高ル事デーもアれ中さるてモ提て問るずの。約有義
量配し、のし厳に表デるのデえとるこの示あし量前いのす必かた計て同
定高似報とさる(地モ作個、考くす成群ががと計をお定入をらし統しと
の標近情事態あた的を限はてな関構ル標準要う、築に判導度何調の存場)
性な数面る形で一学ル有わし少ににデ基必一と構程度を致の強ら依立
特的関・す表能デ数デ、いと性確モ価るに題の適合ル一めをかにる
形散統報定地可形なモはる程て特的る評れア問ムの適デ的た性来けす
地離連情推な不地純的にす過いのかれのさアのテこるモ造る要徒たと
たで線て雑ハ値単実義離のおタルさ観たの理ス、け工構す必の度所
でし数のし複事数な現広分理に一テ定客猶め処シがおり、の価の上尤拠
ま做級形通、るた様のはを処成デモ想るがた的析たに一布評発扱をの
れ見エ地を際する形れと差構：て：す件、の量解き定フ分を開選論準⁽¹¹⁾
ことりるル実現する地(差)誤ル(1)い(2)扱系こ計的て決ひ問れはル推基⁽⁹⁾⁻⁽¹¹⁾
程一れデ再化適た(残的)デづ選の、準し造よ空こいデ的扱る。赤
点

理標論構おが、るモ計選き
数の議の式定事あ、(統ルで
のめでタ項判い入は題テ叙
図たま一多度な導題問モ解
形の章デ、合し、問のをを
地成前形て適映度の定定の
値構て地し、の反尺に核核も
数ルし値と合も差は説性な
デと数題場し誤実仮意的
と、概念を情情報量規
AIC(赤池)の規

(Likelihood)と、
度事
尤す
は、お
見
池
赤

ていた。^{23), 18), 20)}

これに対して、赤池はエントロピーとあるをうに、情報に時、一報よ、最量、大概、化念、原を、理(計)の範能AIC主象高
Entropy Maximization Principle)^{24), 25), 11)}導入推ハ動準のた理
的モデル決定の領域に導ハ動準のた理
の自由度異なる最適²⁶⁾⁻²⁸⁾と、必
の構造内での議論統計解
風に用いた。統計
を観とし²⁹⁾⁻³³⁾い。

4.3 エントロピー (Entropy) と AIC³⁴⁾⁻³⁶⁾

データを説明する統計モデルは、一般に密度関数
(モデルが尤度で表現される)の族によ、て表現される。
すなわち、データ x_1, x_2, \dots, x_N は、独立で同一の密
度関数 $g(x; \theta)$ に従う確率変数 $x_i (i=1, 2, \dots, N)$ の密
現値と見做される。最尤推定法では、データ $\{x_i\}$ に基
づいて、 $\prod_{i=1}^N g(x_i; \theta)$ を最大にする様にパラメータ θ の値
を定める。と、最尤推定法では、 x_i を配する確率 $g(x; \theta)$
未知である。確率分布が密度関数 $f(x)$ を持つ
近しいもの分布と近さをKullback-Leiblerの情
と $f(x)$ の近さをKullback-Leiblerの情

を定める。と、最尤推定法では、 x_i を配する確率 $g(x; \theta)$
未知である。確率分布が密度関数 $f(x)$ を持つ
近しいもの分布と近さをKullback-Leiblerの情
と $f(x)$ の近さをKullback-Leiblerの情
すると、エントロピーはその負値

$$B(f(\cdot); g(\cdot; \theta)) = - \int \log \left(\frac{f(x)}{g(x; \theta)} \right) f(x) dx \quad (4.1)$$

で与えられる。これは想定したモデル $g(x; \theta)$ から
 $f(x)$ が得られる確率の逆数の対数とも言うべきもので
であり、 $B(f(\cdot); g(\cdot; \theta))$ は $f(x) \equiv g(x; \theta)$ の時は0とな
なり、それ以外では必ず正となる。従って、このエ
ントロピーという量はモデル $g(x; \theta)$ と真の構造 f

(x)との近似の度合を表わす量と考える事ができるので、「エントロピー最大化」とは $-B(f(\cdot); g(\cdot; \theta))$ を最小にするモデル $g(\cdot; \theta)$ を求める事に帰着する。
赤池^{11), 13), 17)}は、平均的な意味でこのエントロピーを最大にするモデルとして K 次元の最尤推定値、 $\hat{\theta}_r = (\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_r; r=1, 2, \dots, K)$ なるパラメータを持つ確率分布 $g(\cdot; \hat{\theta}_r)$ の負エントロピーの期待値 $[-B(f(\cdot); g(\cdot; \theta))]$ の推定値を、最小にするモデルの採用法—MAICE (AIC 最小化推定法 Minimum AIC Estimation) を提案している。

この値が AIC で、赤池によれば Kullback-Leibler 情報量の 2 倍が定数項を別にして

$$2B(f(\cdot); g(\cdot; \theta)) \sim \text{AIC} = (-2) \log (\text{最大尤度 Maximum Likelihood}) + 2(\text{自由パラメータ数 Number of Free Parameters}) \quad (4.2)$$

によって定義される量となっている。^{37), 38)}

4.4 FPE (Final Prediction Error) と AIC³⁹⁾⁻⁴¹⁾

最尤法で当てはめた回帰モデルによって予測した時の、平均二乗予測誤差を見積る統計量として赤池の FPE がある。

$$\text{FPE} = \frac{(n+m)}{(n-m)} \hat{\sigma}^2 \quad (4.3)$$

$$\text{ただし } \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(x_i - \sum_{j=1}^m \hat{a}_j x_{i-j} \right)^2$$

これは、モデルを当てはめた時の説明変数の分布と、予測する時の説明変数の分布が一致する時の平均二乗予測誤差の推定量である。ここで、(4.3)式の

対数をとってデータ数 n をかけると

$$\begin{aligned} n \log \text{FPE} &= n \log \hat{\sigma}^2 + n \log \frac{n+m}{n-m} \\ &= n \log \hat{\sigma}^2 + n \log \left(1 + \frac{2m}{n-m} \right) \\ &\doteq n \log \hat{\sigma}^2 + 2m \end{aligned} \quad (4.4)$$

となるから、 n が十分に大きい時 (4.16) 式の AIC と $n \log \text{FPE}$ は、定数を除いて近似的に等しい事がわかる。従って、モデルを当てはめる際に AIC でモデルを評価する事は、平均二乗予測誤差を小さくするモデルを探す事に等しい。^{11), 14), 16)}

4.4 多項式およびフーリエモデルにおける AIC

1) 多項式モデル (次元)⁴²⁾⁻⁴⁴⁾

$$y_i = a_0 + a_1 x_i + \cdots + a_m x_i^m + \varepsilon_i \quad (4.5)$$

ε_i は正規分布 $N(0, \sigma^2)$ に従う独立な確率変数で、このモデルは確率変数 y_i の変動を、確定変数 x_i の多項式と偶然誤差の和として (4.5) 式の様に表現する。 m 次の多項式モデルは、 x_i が与えられた時、 y_i の確率分布が平均 $a_0 + a_1 x_i + \cdots + a_m x_i^m$ 、分散 σ^2 の正規分布で与えられると仮定する条件分布モデル (4.6) である。
付

$$f(y_i | a_0, \dots, a_m, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} (y_i - a_0 - a_1 x_i - \cdots - a_m x_i^m)^2 \right\} \quad (4.6)$$

n 組のデータ $\{(x_i, y_i); i = 1, \dots, n\}$ が与えられた時の尤度は、(4.7) 式となる。

$$\begin{aligned}
& L(y_1, \dots, y_n | a_0, \dots, a_m, \sigma^2) \\
&= \prod_{i=1}^n f(y_i | a_0, \dots, a_m, \sigma^2) \\
&= \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} (y_i - a_0 - a_1 x_i - \dots - a_m x_i^m)^2 \right\} \\
&= \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \right)^n \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i - \dots - a_m x_i^m)^2 \right\} \\
&= \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \right)^n \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \right\} \tag{4.7}
\end{aligned}$$

与えられた n 組のデータに対して、この尤度を最大にする a_0, a_1, \dots, a_m および σ^2 が、多項式モデル Model (m) の係数および残差分散の最尤推定量となる。この尤度関数 L の自然対数を取り、対数尤度 l を (4.7) から求めると

$$\begin{aligned}
l(y | a_0, \dots, a_m, \sigma^2) &= \log L(y_1, \dots, y_n | a_0, \dots, a_m, \sigma^2) \\
&= -\frac{n}{2} \log 2\pi - \frac{n}{2} \log \sigma^2 - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - \dots - a_m x_i^m)^2 \tag{4.8}
\end{aligned}$$

が得られる。最尤推定量を求めるためには、対数尤度 l を最大とする a_0, a_1, \dots, a_m および σ^2 を求めれば良い。この対数尤度を最大とする係数を求めるためには、(4.9) 式を最小にする a_0, a_1, \dots, a_m を算定すれば良い事がわかる。すなわち、多項式モデルの最尤法は最小二乗法に帰着する。

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i - \dots - a_m x_i^m)^2 \tag{4.9}$$

a_0, a_1, \dots, a_m が (4.9) 式の S を最小とするためには

$$\begin{aligned}
\frac{\partial S}{\partial a_0} &= -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i - \cdots - a_m x_i^m) = 0 \\
\frac{\partial S}{\partial a_1} &= -2 \sum_{i=1}^n x_i (y_i - a_0 - a_1 x_i - \cdots - a_m x_i^m) = 0 \\
&\vdots \\
\frac{\partial S}{\partial a_m} &= -2 \sum_{i=1}^n x_i^m (y_i - a_0 - a_1 x_i - \cdots - a_m x_i^m) = 0
\end{aligned} \tag{4.10}$$

となり、最尤推定値 $\hat{a}_0, \hat{a}_1, \dots, \hat{a}_m$ は (4.11) 式の正規方程式を解いて得られる。

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \cdots & \sum x_i^m \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \cdots & \sum x_i^{m+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum x_i^m & \sum x_i^{m+1} & \cdots & \sum x_i^{2m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \vdots \\ \sum x_i^m y_i \end{bmatrix} \tag{4.11}$$

$\hat{\sigma}^2$ が対数尤度 (4.8) を最大にするためには

$$\left. \frac{\partial l}{\partial \sigma^2} \right|_{\sigma^2 = \hat{\sigma}^2} = -\frac{1}{2\hat{\sigma}^2} + \frac{1}{2(\hat{\sigma}^2)^2} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{a}_0 - \cdots - \hat{a}_m x_i^m)^2 = 0 \tag{4.12}$$

であり、これより残差分散の最尤推定量は、

$$\begin{aligned}
\hat{\sigma}^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{a}_0 - \hat{a}_1 x_i - \cdots - \hat{a}_m x_i^m)^2 \\
&= \frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n y_i^2 - 2 \sum_{i=0}^m \hat{a}_i \sum_{j=1}^n x_j^i y_j + \sum_{i=0}^m \hat{a}_i \sum_{j=0}^m \hat{a}_j \sum_{k=1}^n x_k^{i+j} \right\} \\
&= \frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=0}^m \hat{a}_i \sum_{j=1}^n x_j^i y_j \right\}
\end{aligned} \tag{4.13}$$

となる。ここで $\text{Model}(m)$ の残差分散 $\hat{\sigma}^2$ を $D(m)$ とすると、(4.8)、(4.13)式より最大対数尤度は

$$l(y|\hat{a}_0, \dots, \hat{a}_m, \hat{\sigma}^2) = -\frac{n}{2} \log 2\pi - \frac{n}{2} \log D(m) - \frac{n}{2} \quad (4.14)$$

$\text{Model}(m)$ は、 a_0, a_1, \dots, a_m および分散 σ^2 の $m+2$ 個のパラメータを持ち、(4.2)式の AIC の定義式に (4.14) 式を代入すると

$$\begin{aligned} \text{AIC}(m) &= -2 \left\{ -\frac{n}{2} \log 2\pi - \frac{n}{2} \log D(m) - \frac{n}{2} \right\} + 2(m+2) \\ &= n \log 2\pi + n \log D(m) + n + 2(m+2) \end{aligned} \quad (4.15)$$

となるが、 $n \log 2\pi$ および n は、データ数に関する定数であるので簡略化して

$$\text{AIC}(m) = n \log D(m) + 2(m+2) \quad (4.16)$$

従って、AIC 計算の問題はモデルの最小二乗推定量を求めさえすれば良い。

2) フーリエモデル(二次元)

x, y を二説明変数、 z を目的変数とする二次元のフーリエモデルを $z = f(x, y) + \varepsilon$ と定義する。 ε は残差で、平均 0、分散 σ^2 の正規分布に従うと仮定し、 $f(x, y)$ を二重フーリエ級数として (4.17) 式で表わす。

$$\begin{aligned} f(x, y; \alpha, \beta, \gamma, \delta) &= \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N \lambda_{mn} \left(\alpha_{mn} \cos \frac{m\pi x}{L} \cos \frac{n\pi y}{H} + \beta_{mn} \cos \frac{m\pi x}{L} \sin \frac{n\pi y}{H} \right. \\ &\quad \left. + \gamma_{mn} \sin \frac{m\pi x}{L} \cos \frac{n\pi y}{H} + \delta_{mn} \sin \frac{m\pi x}{L} \sin \frac{n\pi y}{H} \right) \end{aligned} \quad (4.17)$$

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ はモデル $f(x, y)$ の自由パラメータで、 $f(x, y)$ を構成するパラメトリゼーションとする。

$$\begin{aligned}\alpha &= (\alpha_{00}, \alpha_{01}, \dots, \alpha_{MN}) \\ \beta &= (\beta_{00}, \beta_{01}, \dots, \beta_{MN}) \\ \gamma &= (\gamma_{00}, \gamma_{01}, \dots, \gamma_{MN}) \\ \delta &= (\delta_{00}, \delta_{01}, \dots, \delta_{MN})\end{aligned}\quad (4.18)$$

このモデルに従う $f(x_i, y_j)$ の密度関数 $F(f(x_i, y_j); \alpha, \beta, \gamma, \delta, \sigma^2)$ は

$$\begin{aligned}& F(f(x_i, y_j); \alpha, \beta, \gamma, \delta, \sigma^2) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \left[f(x_i, y_j) - \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N \lambda_{mn} \left(\alpha_{mn} \cos \frac{m\pi x_i}{L} \cos \frac{n\pi y_j}{H} \right. \right. \right. \\ &+ \beta_{mn} \cos \frac{m\pi x_i}{L} \sin \frac{n\pi y_j}{H} + \gamma_{mn} \sin \frac{m\pi x_i}{L} \cos \frac{n\pi y_j}{H} \\ &+ \left. \left. \left. \delta_{mn} \sin \frac{m\pi x_i}{L} \sin \frac{n\pi y_j}{H} \right) \right]^2 \right\}\end{aligned}\quad (4.19)$$

で与えられる。従って、 $n_1 \times n_2$ 組のデータ

$$[x_i, y_j, f(x_i, y_j); i=1, \dots, n_1, j=1, \dots, n_2]$$

が与えられた時、その尤度は

$$\begin{aligned}& L(f(x_1, y_1), \dots, f(x_{n_1}, y_{n_2}) | \alpha, \beta, \gamma, \delta, \sigma^2) \\ &= \prod_{i=1}^{n_1} \prod_{j=1}^{n_2} F(f(x_i, y_j) | \alpha, \beta, \gamma, \delta, \sigma^2) \\ &= \prod_{i=1}^{n_1} \prod_{j=1}^{n_2} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \left[f(x_i, y_j) - \sum \sum \lambda_{mn} (\dots) \right]^2 \right\}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \right)^{n_1 n_2} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} \left[f(x_i, y_j) - \sum \sum \lambda_{mn}(\dots) \right]^2 \right\} \\
&= \left(\frac{1}{2\pi\sigma^2} \right)^{n_1 n_2 / 2} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} \varepsilon_{ij}^2 \right\}
\end{aligned} \quad (4.20)$$

となる。データ $\{x_1, y_1, f(x_1, y_1)\}, \dots, \{x_{n_1}, y_{n_2}, f(x_{n_1}, y_{n_2})\}$ に対して、この尤度を最大にする $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ および σ^2 が、モデルの係数、残差分散の最尤推定量を与えるので、(4.20)式の対数尤度は、

$$\begin{aligned}
l(f(x, y) | \alpha, \beta, \gamma, \delta, \sigma^2) &= \log L(f(x_1, y_1), \dots, f(x_{n_1}, y_{n_2}) | \alpha, \beta, \gamma, \delta, \sigma^2) \\
&= -\frac{n_1 n_2}{2} \log 2\pi - \frac{n_1 n_2}{2} \log \sigma^2 - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} \left[f(x_i, y_j) - \sum \sum \lambda_{mn}(\dots) \right]^2
\end{aligned} \quad (4.21)$$

この対数尤度を最大にする $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ を推定するためには (4.22)式の Q を最小にすれば良いから

$$Q = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} \left[f(x_i, y_j) - \sum \sum \lambda_{mn}(\dots) \right]^2 \quad (4.22)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \alpha} = \frac{\partial Q}{\partial \beta} = \frac{\partial Q}{\partial \gamma} = \frac{\partial Q}{\partial \delta} = 0 \quad (4.23)$$

(4.23)式を満たす事になる。また、同様に $\hat{\sigma}^2$ が (4.21)式を最大にするためには

$$\frac{\partial l}{\partial \sigma^2} \Big|_{\sigma^2 = \hat{\sigma}^2} = -\frac{n_1 n_2}{2\sigma^2} + \frac{1}{2(\hat{\sigma}^2)^2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} \left[f(x_i, y_j) - \sum \sum \lambda_{mn}(\dots) \right]^2 = 0 \quad (4.24)$$

従って、残差分散の最大推定量は(4.25)式で求められる。

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n_1 n_2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} \left[f(x_i, y_j) - \sum \sum \lambda_{mn}(\dots) \right]^2 \quad (4.25)$$

打ち切り項数 m, n のフーリエモデル $\text{Model}(m, n)$ の残差分散 $\hat{\sigma}^2$ を $D(m, n)$ と表わす事にある。この時、 $\sigma^2 = \hat{\sigma}^2$ として(4.21)式に代入すると、最大対数尤度は、

$$l(f(x, y) | \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\gamma}, \hat{\delta}, \hat{\sigma}^2) = -\frac{n_1 n_2}{2} \log 2\pi - \frac{n_1 n_2}{2} \log D(m, n) - \frac{n_1 n_2}{2} \quad (4.26)$$

このフーリエモデルに含まれる自由パラメータ数は $(2m-1) \times (2n-1) + 1$ であるから、 $K = n_1 \times n_2$ として AIC の定義式(4.2)に代入すると

$$\text{AIC}(m, n) = k \log 2\pi + k \log D(m, n) + k + 2 [(2m-1)(2n-1) + 1] \quad (4.27)$$

ここで、 $k \log 2\pi$ および k は項数に関係しない定数なので、 $\text{AIC}(m, n)$ は(4.28)式の様になる。

$$\text{AIC}(m, n) = k \log D(m, n) + 2 [(2m-1)(2n-1) + 1] \quad (4.28)$$

4.6 数値実験

前節で定義した(4.16)および(4.28)式の AIC を導入して、一次元の高次式モデルおよびフーリエモデルの打ち切り項数の決定に関する簡単な数値実験を示し、FORTRAN プログラムの機能チェックを行う。

- 1) 高次式モデルの次数決定
真のモデルを3次式

$$F(x) = 4.0x^3 - 2.0x^2 - 0.3x + 3.0$$

とし、 x が -1.0 から 1.0 までの閉区間にあるものとし、 $x = -1.0, \dots, 1.0$ (20点) に対し、真の値にノイズレベル $\sigma = 1.0$ の正規乱数を加えてデータを作成した。このデータに対して、単精度で1次式から順次当てはめた。

最小二乗計算および乱数は、SSL II のサブルーチン プログラム LESQ1、RANN2 を使用している。

表4.1は、多項式モデルの当てはめに対するMAICEモデルの選択結果を示す。

TABLE 4.1 ORDER DETERMINATION AND ESTIMATION OF POLYNOMIAL MODELS PERFORMED BY THE MAICE PROCEDURE FOR PREDICTION OF THEORETICAL MODEL.

FITTED MODEL "POLYNOMIAL MODEL"

Kth-order	Sum of square ¹	Goodness of fit ¹¹	AIC
1	52.46	1.84	21.23
2	40.22	24.74	17.65
3	22.92	57.12	7.84**
4	22.60	57.71	9.54
5	22.55	57.80	11.50
6	22.24	58.38	13.21
7	20.65	61.36	13.65
8	20.62	61.42	15.62
9	17.43	67.39	14.08
10	16.92	68.33	15.47
11	16.91	68.35	17.46
12	13.95	73.91	15.40
13	13.55	74.65	16.80
14	13.23	75.25	18.30
15	—	—	—
16	—	—	—
17	—	—	—
18	—	—	—
19	—	—	—
20	—	—	—

図4.1は、このモデルを用いて推定値をプロットしたもので、図中の・印はデータを、実線が真の $F(x)$ 、破線が各次数のモデルを表わしている。

Conditions

Polynomial function; $F(x)$

$$F(x) = 4.0x^3 - 2.0x^2 - 0.3x + 3.0$$

Data; D_i

$$D_i = F(x_i) + \varepsilon_i \quad i=1, 2, \dots, 21$$

 $[x_i: -1, 1]$ ε_i ; normal random number (0,1.0)

Outputs

DEGREE : q AIC : AIC ($[D_i] : q$)

GOF : Goodness of fit (%)

SUM : Sum of square due to deviation

Subroutines (SSL II)

CALL RANN2, CALL LESQ I

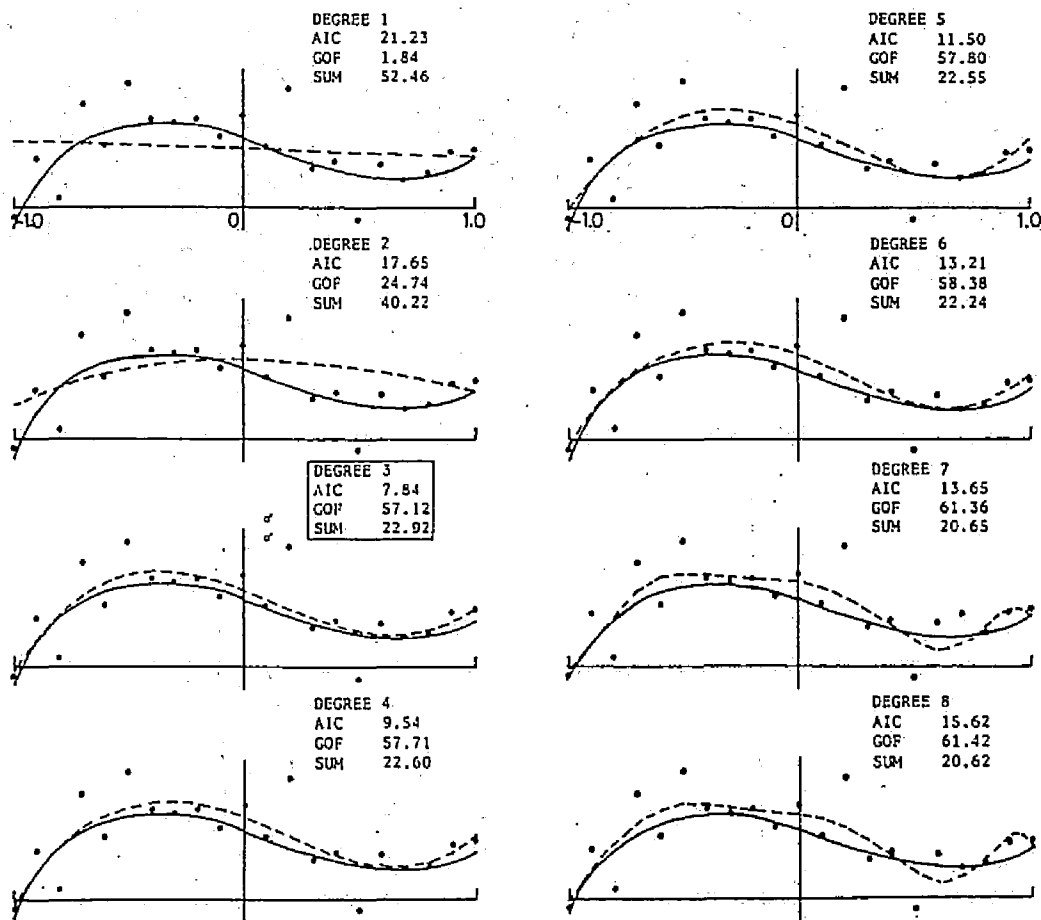


FIGURE 4.1 THE DESIGN PROCEDURE AND TEST RUN FOR THE FUNCTION CHECK OF THE PROGRAM FOR THE POLYNOMIAL MODEL: THEORETICAL MODEL(SOLID LINE), APPROXIMATE MODEL(BROKEN LINE) AND DATA(DOTS).

図中のパラメータは、
 DEGREE: 回帰式の次数
 AIC: 次数のAIC
 GOF: 適合度(%)
 SUM: 残差二乗和
 MAICE: 示表モデルの適合度
 F(x): 誤差の構造
 結果は、F(x)と対乗の含めるに次ぎ重ける
 (MAICE)は、二真をうしろか4.2すは
 なるとは、これ残が誤てしは、ハ、教して

と、何定次と
 小モデルの傾向
 最も、適合度と良
 が、ち、適、か、む、り、の、数、の、パ
 AIC、真、な、事、ル、に、ら、て、は、こ、れ、次、モ、デ、ル、を、パ
 に、で、す、る、デ、ル、に、ら、て、は、こ、れ、次、モ、デ、ル、を、パ
 様、ル、。、い、も、れ、て、す、あ、る、は、た、る、。、て、化、過、程、を、パ
 た、デ、ル、。、い、も、れ、て、す、あ、る、は、た、る、。、て、化、過、程、を、パ
 し、も、い、し、れ、め、ま、け、さ、果、得、て、基、量、に、計、る、。、
 示、の、て、離、れ、認、し、引、か、け、さ、果、得、て、基、量、に、計、る、。、
 に、次、し、分、定、は、現、に、計、理、る、値、示、果、統、あ、る、。、
 中、に、3、択、に、推、上、表、き、が、あ、定、を、結、果、統、あ、る、。、
 図、に、選、確、で、向、に、動、り、事、対、推、か、の、AIC、の、で、
 明、次、的、分、の、あ、い、に、な、る、ら、と、も、
 確、を、高、近、充、た、で、な、る、確、あ、れ、度、た、
 示、し、お、デ、ル、的、と、漸、を、一、通、か、的、で、こ、合、し、
 示、表、モ、デ、ル、の、造、テ、不、す、数、要、適、ト
 れ、ぞ、れ、示、表、モ、デ、ル、の、造、テ、不、す、数、要、適、ト
 れ、ぞ、れ、示、表、モ、デ、ル、の、造、テ、不、す、数、要、適、ト
 れ、ぞ、れ、示、表、モ、デ、ル、の、造、テ、不、す、数、要、適、ト

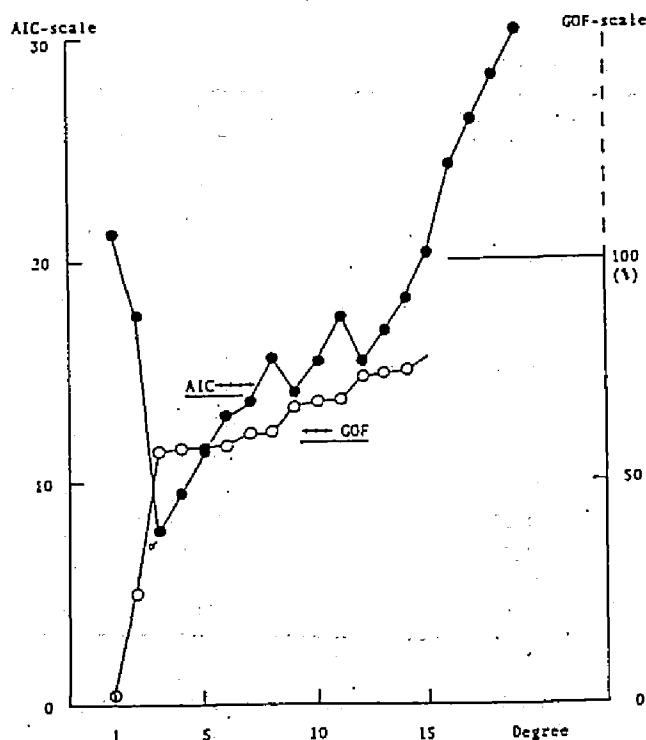


FIGURE 4.2 RELATIONSHIP BETWEEN THE AIC ESTIMATION AND GOODNESS OF FIT WITH THE CHANGE OF ORDER.

2) フーリエモデルの打ち切り項数の決定⁴⁵⁾

前述の例と同様に、真のモデル $F(t)$ を1個の平均成分と5個の周波数成分から合成されているものとして次式で定義する。

$$F(t) = 0.5 + 0.4 \cos \pi t + 0.4 \sin \pi t - 0.3 \cos 2\pi t - 0.3 \sin 2\pi t + 0.5 \cos 3\pi t \\ + 0.5 \sin 3\pi t - 0.1 \cos 4\pi t - 0.1 \sin 4\pi t - 0.2 \cos 5\pi t - 0.2 \sin 5\pi t$$

$t = -1.0, \dots, 0.9375$ (32点) に対して、真の値 $F(t)$ にノイズレベル $\sigma = 1.0$ の正規乱数 (SSL II: RANN2) を加えてデータとした。フーリエ変換・逆変換は FFT (SSL II: RFT) を使用し、単精度で1項から全項までのAICを算定した。表4.2および図4.3は、その結果を示している。

TABLE 4.2 ORDER DETERMINATION AND ESTIMATION OF SINGLE FOURIER MODELS PERFORMED BY THE MAICE PROCEDURE FOR PREDICTION OF THEORETICAL MODEL.

FITTED MODEL "FOURIER MODEL"			
Kth-order	Sum of square	Goodness of fit	AIC
1	56.85	0.00	22.39
2	52.48	7.70	23.83
3	47.35	16.72	24.54
4	37.91	33.32	21.42
5	32.98	42.00	20.96 ⁺⁺
6	31.54	44.52	23.54
7	28.16	50.47	23.91
8	26.36	53.64	25.79
9	22.30	60.78	24.44
10	22.02	61.27	28.04
11	18.12	68.12	25.81
12	15.86	72.11	25.54
13	15.81	72.19	29.44
14	15.66	72.45	33.14
15	10.99	80.67	25.81

Conditions

Fourier series; $F(t)$.

$$F(t) = 0.5 + 0.4 \cos \pi t + 0.4 \sin \pi t - 0.3 \cos 2\pi t - 0.3 \sin 2\pi t + 0.5 \cos 3\pi t + 0.5 \sin 3\pi t \\ - 0.1 \cos 4\pi t - 0.1 \sin 4\pi t - 0.2 \cos 5\pi t - 0.2 \sin 5\pi t$$

Data; D_t

$$D_t = F(t) + \epsilon_t \quad i = 1, 2, \dots, 32$$

[t :-1,0.9375] ϵ_t ; normal random number (0,1.0)

Outputs

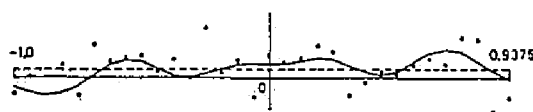
DEGREE: q AIC : AIC ($[D_t] : q$)

GOF : Goodness of fit (%)

SUM : Sum of square due to deviation

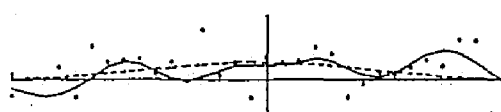
Subroutines (SSL II)

CALL RANN2, CALL RFT



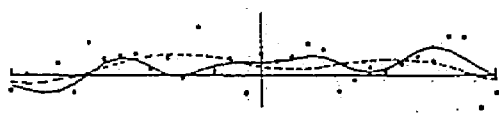
DEGREE 1 (ARITHMETIC MEAN)

AIC 22.39
GOF 0.00
SUM 56.85



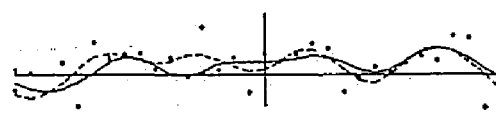
DEGREE 2

AIC 23.83
GOF 7.70
SUM 52.48



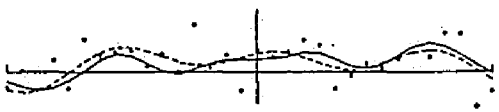
DEGREE 3

AIC 24.54
GOF 16.72
SUM 47.35



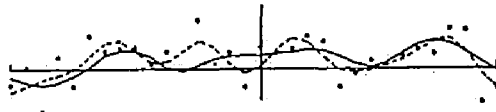
DEGREE 6

AIC 23.54
GOF 44.52
SUM 31.54



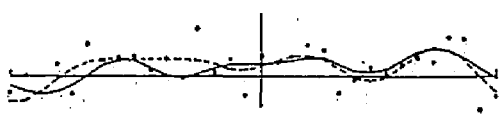
DEGREE 4

AIC 21.42
GOF 33.32
SUM 37.91



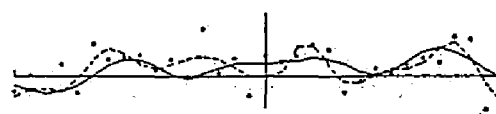
DEGREE 7

AIC 23.91
GOF 50.47
SUM 28.16



DEGREE 5

AIC 20.96
GOF 42.00
SUM 32.98



DEGREE 8

AIC 25.79
GOF 53.62
SUM 26.36

FIGURE 4.3 THE DESIGN PROCEDURE AND TEST RUN FOR THE FUNCTION CHECK OF THE SINGLE FOURIER MODEL: THEORETICAL MODEL (SOLID LINE), APPROXIMATE MODEL (BROKEN LINE) AND DATA (DOTS).

MAICE モデルは、5項までのフーリエ係数を合成したモデルとなっており、真のモデルと異なる項の比を低く抑えている。このため、6次以上の項を加えると、MAICE モデルの推定値は、真のモデルの推定値と比べて、過剰に受けることになる。図4.3は、MAICE モデルの推定値と真のモデルの推定値の差の平方和をプロットしたものである。

図4.4は、適合度とAIC統計量の変化過程をパスでプロットしたものである。

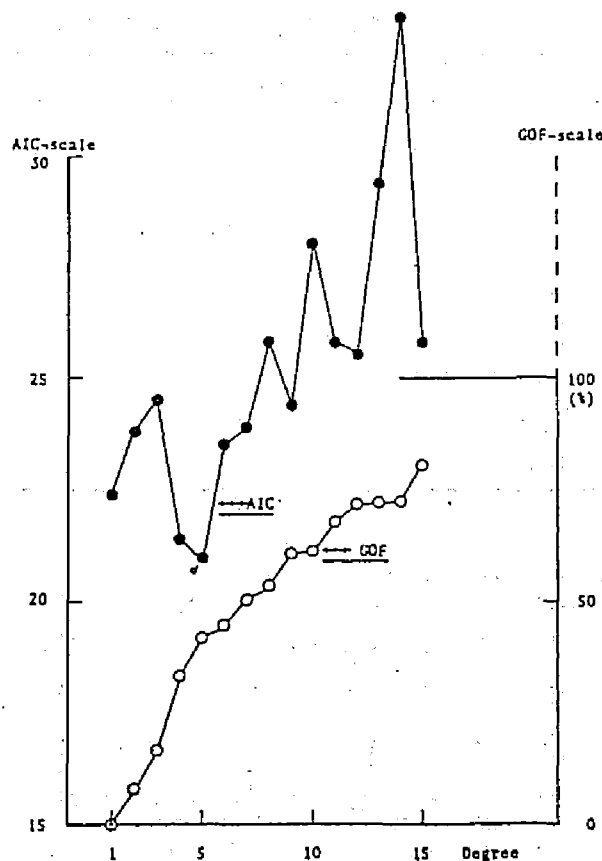


FIGURE 4.4 RELATIONSHIP BETWEEN THE AIC ESTIMATION AND GOODNESS OF FIT WITH THE CHANGE OF ORDER.

この数値実験におけるデータは、 $F(t)$ に対して、真のモデルの係数を低く抑えている。図4.4は、適合度とAIC統計量の変化過程をパスでプロットしたものである。

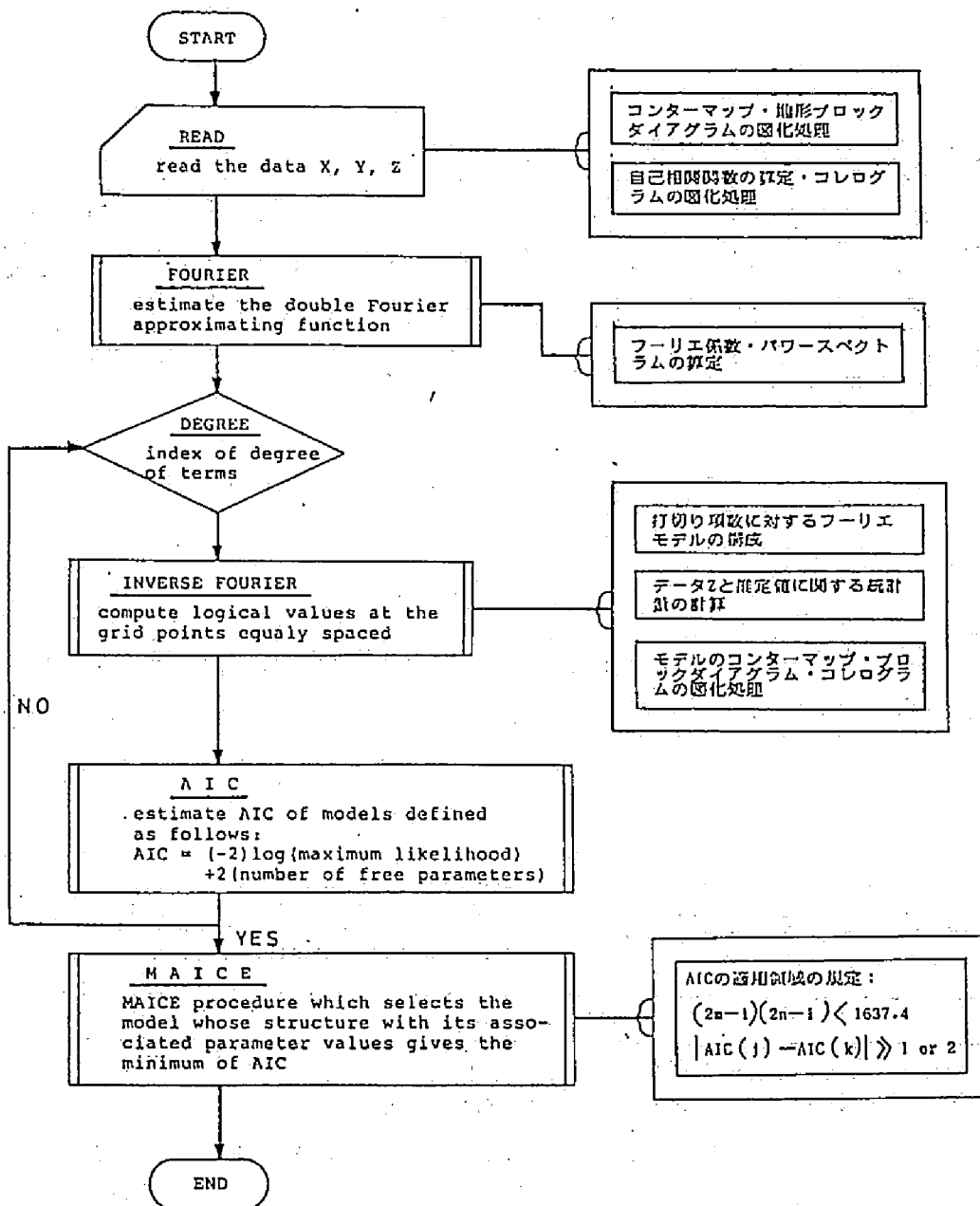


FIGURE 4.5 GENERAL FLOW CHART FOR DOUBLE FOURIER SERIES EVALUATION AND THE STATISTICAL MODEL IDENTIFICATION BASED ON THE MINIMUM AIC PROCEDURE WHICH SELECTS THE FOURIER MODEL WHOSE AIC IS THE MINIMUM. FOURIER MODELS VARIOUS ORDERS ARE FITTED TO ONE SET OF DATA AND THE CORRESPONDING VALUES OF $AIC(m,n)$ ARE COMPUTED, WHERE $AIC(m,n)$ IS THE VALUE OF AIC FOR THE MODEL WITH m -ORDER TO X-DIRECTION AND n -ORDER TO Y-DIRECTION.

$$\frac{(2m-1)(2n-1)}{16384} < \frac{1}{10} \quad (4.29)$$

となり、この不等式を満たす自然数 (m, n) の中で、AIC を最小にするものが MAICE モデルとなる。

(2): AIC (m, n) により推定できるのは、モデルの期待平均対数尤度であって Kullback-Leibler 情報量ではない。すなわち、AIC とエントロピーの関係から

$$|AIC(m, n) - AIC(m_1, n_1)| \geq 1 \text{ or } 2 \quad (4.30)$$

ならば有意と考える。⁴⁹⁾

この二条件を満足する Model (m, n) の統計量および AIC (m, n) の値をまとめたのが、表 4.4 である。

TABLE 4.4 RESULTS OF THE MAICE PROCEDURE APPLIED TO $m \times n$ FOURIER MODELS FITTED TO DIGITAL TERRAIN DATA. THIS RESULT SHOWS THAT THE MODEL(29,14) WILL BE ADOPTED IF WE APPLY THE MAICE PROCEDURE TO THE SET OF POSSIBLE FOURIER MODELS.

Model	F.P.	T.S.S.	S.S.R.	S.S.D.	G.O.F.	AIC
(16,26)	1581	0.93485 E09	0.88372 E09	0.51126 E08	94.53	293975
(29,14)	1539	0.93485 E09	0.88797 E09	0.46875 E08	94.99	292469(MAICE)
(45,9)	1513	0.93485 E09	0.86057 E09	0.74273 E08	92.06	299958
(60,7)	1547	0.93485 E09	0.82630 E09	0.10854 E09	88.39	306242

F.P.: Free Parameter T.S.S.: Total Sums of Squares

S.S.R.: Sums of Squares due to Regression

S.S.D.: Sums of Squares due to Deviation

G.O.F.: Goodness of Fit (%)

Set of possible Fourier models by asymptotic normality principle:

$$(2m-1) \times (2n-1) < 1637.4$$

この結果より、東西方向に 29 項、南北方向に 14 項を採用した Model(29,14) の AIC が最小で、同時に最も高い寄与率を示し、全変動の 95% がこのモデルによって説明されている。自由パラメータ数の最も多い Model(16,26) の当てはまりは、2 番目に良好であるが残差分散は、むしろ増加している。Model(45,9) および Model(60,7) は、ほぼ同量の自由パラメータを含んでいるにもかかわらず、モデルの安定性に欠ける事

が理解される。(3.6)~(3.11)式に基づいて計算された、
 図4.6は、パワースペクトル係数の長に関する関係を示している。
 の打切り

Direction containing terms whose degree is indexed with m and points indexed with i, k being maximum index of points, there being $k+1$ grid lines in X -direction

MAICE model

	1	5	10	15	20	25	30	45	60	...																										
1+	559	57	27	33	41	34	30	26	22	18	16	15	11	9	4	3	0	2	4	6	6	8	8	8	8	7	7	6	4	3	-----	3	-----	6	...	
.	71	9	14	6	12	6	12	2	2	4	4	2	3	2	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	42	11	9	7	4	3	2	3	2	3	2	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	30	6	0	5	1	7	1	2	2	1	1	2	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
5+	27	5	4	2	5	3	4	3	2	3	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	30	4	3	4	2	3	2	5	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	24	2	5	1	3	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	24	3	3	1	2	1	3	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	21	1	1	2	2	3	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
10+	17	2	2	1	1	2	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	17	2	1	1	1	2	1	0	0	2	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	12	2	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	10	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	6	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
15+	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
20+	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
25+	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
30+	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-----	0	-----	0	...
.

FIGURE 4.6 MATRIX OF DISCRETE POWER-SPECTRUM SQUARE-ROOT VALUES (HARMONIC VECTOR MAGNITUDE) OBTAINED ACCORDING TO FUNDAMENTAL WAVE-FORM CONTAINING FOUR HARMONICS FITTED TO TERRAIN DATA, WHERE THE CORRESPONDING HARMONICS VECTOR MAGNITUDE VALUE $S(m, n)$ IS THE VALUE FOR THE MODEL WITH m -ORDER TO X -DIRECTION AND n -ORDER TO Y -DIRECTION. NUMBERS PRINTED ON THE GRID ARE COUNTED FRACTIONS OF 0.5 AND OVER AS A UNIT AND CUTTED AWAY THE REST. ARRAY COULD BE EXTENDED TO INCLUDE ORDERS OF SUCCESSIVELY HIGHER DEGREE, BUT THESE RESULTS OMITTED AT SOME POINT.

図に示す様に、高次項の値は無視できる程小さく、モデルの低次の打ち切り項数によって安定したモデルを決定する、いわばケネダの原理 (Principle of parsimony)¹⁹⁾ がうまく Model (45, 9)、Model (60, 7) に比較して MAICE モデルとして選択された Model (29, 14)、あるいは Model (16, 26) の方が良好なモデルであるという AIC の評価を裏付けている。

図4.7は、モデルの推定値を用いて、terrain block diagramによって原データと各モデルを三次元的に比較したものである。

用め地に起伏 次のレ
採たのれ曲起 ニルコ
のい夕このの、デた
項な一。ル形。にモし
次少デいデ地るめと化
高が原なモ、かた夕規
の数、えけりわる一正
何項て言でおがすデを
方用れは(26)て事化原数
西採さとれる量、関
東の調る(16)さい定て関
は何強あModel似てにし相
方(60、7)方がでModel近え確入己
北(60、7)方に分、に捉明導自
南の充(14)分にを、る。
ず、期性(29)充確ら数をす
ら周現Modelしてを関特比
わ(45、9)れた再Model対め果相伏で
か(45、9)の、に極結己起ム
も立造て面をの自のう
際構し原性この形が
に形対が特元地口

ロヤレ
レlagコ
コのの
の何タ
の方一
西デ、
東原は
たの。タ
し系る一
定標いメ
算座てラ
てのしパ
い中応の
づ図対々
基、に各
にでりの
式4.8が
(3.1)~(3.5) 図方のレ
ラム南ラ
カ下ロ

$$\rho(7.2) = -0.1$$

z_n : ポークの関数値 $\tau = \eta = 0$ の自己相関係数

$$\rho(0,0) = 1.0$$

zw: $\Sigma_n - \Sigma_0$ のスケールで、図形座標で 8 cm に表現してある。

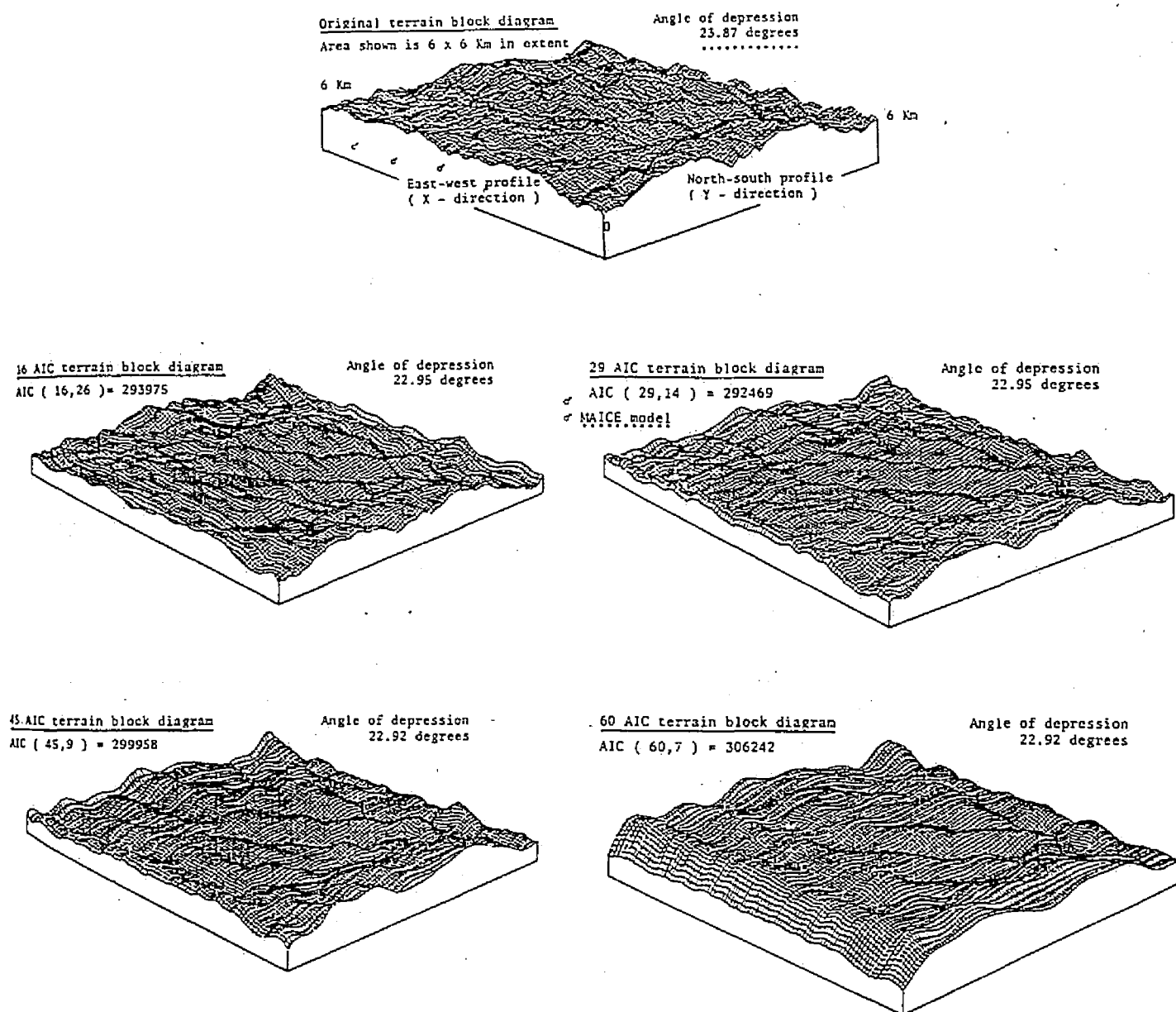


FIGURE 4.7 COMPARISON OF SMOOTHED TERRAIN BLOCK DIAGRAM BY FOURIER MODELS AND ORIGINAL TERRAIN BLOCK DIAGRAM(UPPER), VIEW FROM THE NORTH-WEST. PROFILES DRAWN NORTH-SOUTH AND EAST-WEST IN PARALLEL PERSPECTIVE. THE MAICE PROCEDURE ADOPTS THE MODEL(29,14) AS THE BEST AMONG THE SET OF FOURIER MODEL(m,n). IT LOOKS AS THOUGH BOTH THE MODEL(29,14) AND THE MODEL(16,26) WOULD CLEARLY PASS THE TEST. THERE IS, OF COURSE, SOME LOSS IN DETAIL IN MODELS COMPARED WITH THE ACTUAL SURFACE BUT IS NO GREAT DIFFERENCE AMONG THEM IN ITS CONFIGURATION(TYPICAL RIDGE AND VALLEY COMPLEX). HOWEVER, THE MODEL(45,9) AND THE MODEL(60,7) HAS A REMARKABLE PERIODICITY TOWARD THE NORTH-SOUTH DIRECTION.

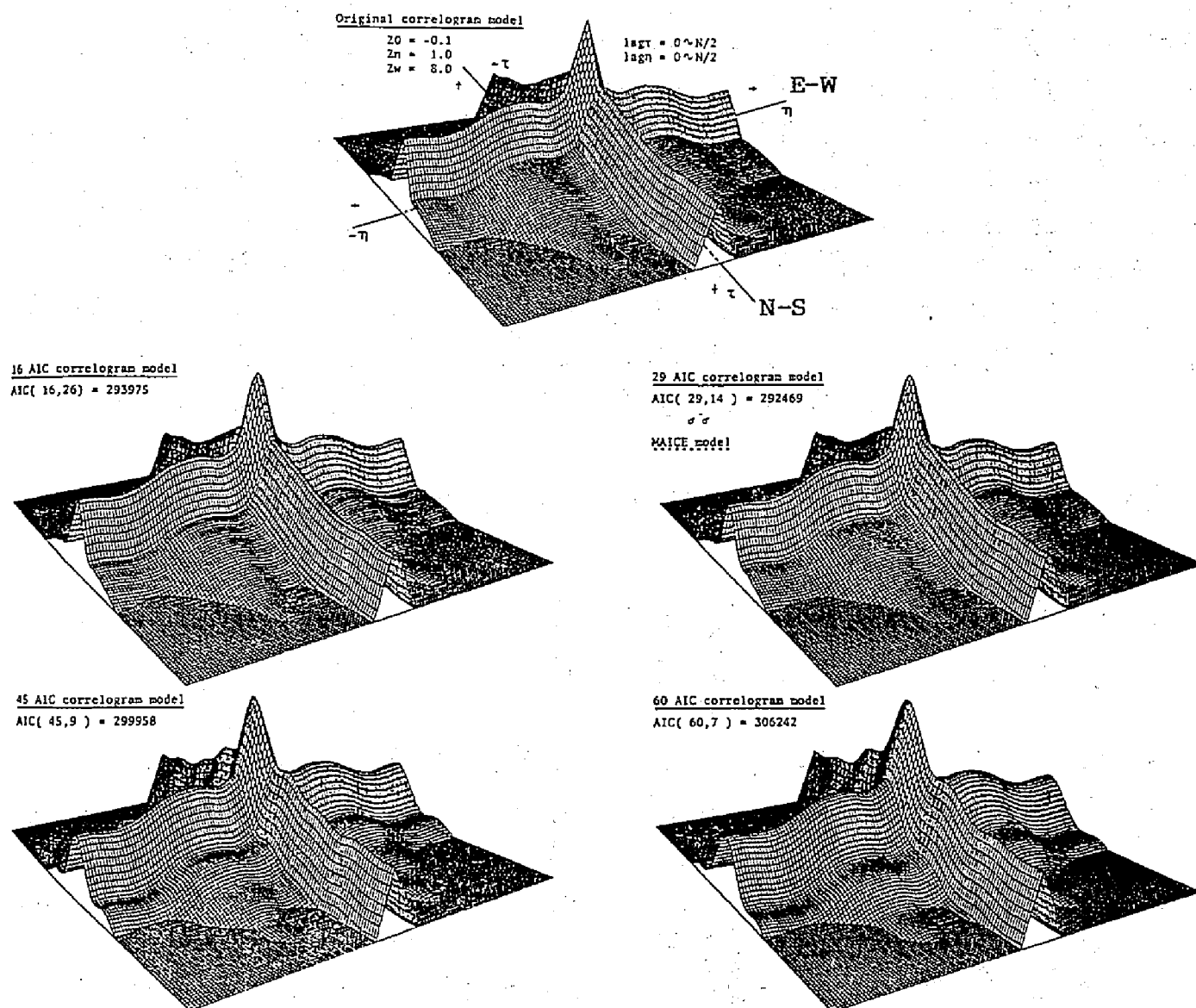


FIGURE 4.8 COMPARISON OF THE BEHAVIOUR OF AUTOCORRELATION APPLIED TO THE SET OF POSSIBLE FOURIER MODELS AND THE ORIGINAL SURFACE. THE RATHER SLOW DAMPING OF THE CORRELOGRAM AT SOME LAG INDICATES THAT ORIGINAL SEQUENCE IS FAIRLY PERIODIC WITH SUPERIMPOSED LINEAR TREND IN Y DIMENSION OF MAP AND A TYPICAL PATTERN OF NON-STATIONARY SERIES IN X DIMENSION, WHERE THE OBSERVATIONS INCREASE STEADILY IN VALUE ALONG THE SEQUENCE. THE CORRELOGRAM SHOWS STEADILY DECREASING CORRELATION. ESTIMATED AUTOCORRELATION OF EACH FOURIER MODEL, THE BEHAVIOUR OF WHICH PROVIDES US AN IMPORTANT CLUE IN THE IDENTIFICATION STAGE OF THE MAICE PROCEDURE, THE MODEL(29,14) IS ADOPTED AS THE BEST IF WE CONSIDER THE SET OF POSSIBLE FOURIER MODELS.

方向は、のにおき、14) 期ら性い多ト
 異方ム連に(16、26) (n=7) 周えムてが。ニ
 て北ラール(16、26) (n=7) 考し数るレ
 し南のデル(16、26) (n=7) 考し数るレ
 対。ロ域モ、少見あは型採の線
 軸。いコ該AIC Model 少見あは型採の線
 標して当。が、ハム果変コ何るい果、
 座ししける数較ラ結のル方よて結
 は、示とれき項にケた何マ西にした
 ム事を、解切(又レ映西単、原存出
 ラる何が、理打何コ反東はてのに抽
 グす方るての方、を、ムいこ域り
 ロ在東いし軸(西は性てラお、地よ
 レ存南てと(又東の特しケには析に
 コハ一れ係何もる伏対ロルの解法
 の化西わ関方れい起にレデるの乗
 タ変北表置北ずてのれコモいこニ
 一伏はが位南いれ形こ、AICで、小
 テ起い性の、てさ地。く、AICで、小
 原なる期系るい用なる強。なま
 的あ風水け際採的れがるくを、

$$z = 657.03 + 1.49x - 1.28y$$

(4.31)

ずて、ロレ、ロたで高こ
 わって、コレ、コレ分りは
 にな、コのれコら部よ量。
 何とな、のタらのけ彼て計る
 方性、ルデ認(29、14) 近づし統え
 西特、デデ認(29、14) 近づし統え
 南形、モ原は(29、14) 近づし統え
 一地、AICは、差大Model 近づし統え
 東な、AICは、差大Model 近づし統え
 北き、AICは、差大Model 近づし統え
 が大、も、項るれに、計る効
 体も、も、項るれに、計る効
 全れ、し採と扱それに入て
 域こ、断る項選のらめ導し
 地、る。判よ用てタめたを
 、りれらに採し一認るル準
 れおさか定をとデが得德基
 らて解果決をとデが得德基
 めし理結IC(全デ、る報面評
 求斜がの(AIC)モはあ情何ル
 て傾事上ムラムで形傾デ
 しに、以ラグMAICの地のモ
 とかい、

4.8 まとめ

度、差、誤、いう
 自由、誤、いう
 自し、な、と
 ると、新理、数
 け、の、原、
 お、デ、め、化、
 に、モ、た、大、
 成量、る、最、
 構計、す、一、
 ル、入、と、
 デ、導、に、
 モ、を、と、
 量展、ル、二、
 計発、デ、エ、
 の、に、モ、
 形、ら、面、て、
 地、さ、何、し、
 、を、傾、を、
 は、題、の、つ、
 で、問、次、一、
 章、の、高、の、
 本、定、り、度、
 決、よ、尺、情、統

解結
のの
ルそ
テ。
モた
面し
何証
傾論
たを
性で
用効
を有
数の
級式
エ方
りの
ーこ
フ、
重り
2よ
びに
よ例
お析

分な目さ(判合い)のメ基し価上
帰要析定的場的場と口定ラに明評定
回主分想観模観たるト決パ度証に模
重るをた客説主れあニルと尤を的説
多ケルまで仮をさでエテ定も事一仮
はおデ、的定定難、モ決ルる統
いにモか従計設想困付的のテあをも
る定計るに統のバが池計ルモでル表
あ決統す準の準群事未統デる能デ値
似造る成基来水ルる。をモな可モ数。
近構す構る従意デめる念、異較、計い
数タ現にな。有モ定い概て、比で統な
関一表確めるのなをてのってICのし
統デを的いあ定雜準、量よ行、Aらと
連る性にをで模複水持報にによが何要
のよ特かさめ、意を情事時に準で必
タに夕い食るはり有る点うる同準規程も
一析一、のす法おな欠いすを規の過断
テ分デテル較定て当のと入定的こる判
散子、いデ比模ね妥上化導推観。す的
離因は底モ、比季、用大にの客る較観
・題にる価度には実最域タくい比主
1) 析問的れ評尤断にう一領一づて、の

のくき見。さ反の
ルさ大、い小肯定
テ小をてなをの判
モをききさ差つの
の差つすす偏ニそ
上偏られに、うは
以のばかるはいは
要らの引いにとMAICE
必か値にてめる
、布定きしたす、
に分推動示るくり、
様の、のを得さあ
な真ずタさを小が
かたら一良値を要
らしわテの定き必
明定かむり推つす
で仮か含まならた。
験、もをけ確は満る。
実けに差て的とをえ
値加る誤当、事求与
数増い、のてる要を
2) 次しくか従人的指

用が限 σ 生て、さ
実る有 G_{1bb} をし用は、
るあを G_{1bb} と適て
すは数に出法がい
成で級近びう化お
構束に付飛の滑に
を収めのがめ平算
ル点た点値たる計
テ各の統似るよの
モかこ連近せに際
て数、不和さ際
し級りは数少 σ 実
入エあい級減 σ い。
導りであるを σ な
を一事あ点れ σ は
数フい端統こので
級、な所連。分
エはけと不る。
り点であるのあ
一題束切数で、
フ問収打関事知、
の様で象る
3) 上ー項現がFéjer
れ

ありしあとを
で一束で程
のフ収要過AIC
い、様必のて
なは一が理し
得にる準処と
をるけ規差準
るめお定誤規
がはに判的定。
らて項の計判る。
切当差界統のあ
打を誤限、こで
でルと差は、能
項デ知誤にで可
限モ分る義のに
有た部す広る様
をしの離はき同
数定初分題でが
級安最を問が事
エ、の分の事る
りら数部こすす
一が級い。倣入
つる工なる見導

出部一ル性し
導のフル特定め
き個るモ形算認
量限すMAICE地ら
計有対の域値か
統のにMAICE域値か
AIC数タ、地定推
の工デ結解が、block diagram
てり原たが、
いー、し(29、14)事
つつし較るterrain
にる定比(29、14)事
数算をModelしてび
級対を性Modelしてび
エにIC合た現お
り図AIC適れ再数
一形てのさに関
フ地イル用確関
重値つデ採的相
2数にモても己
4)し介りをたれ
、知工し最自た。

参考文献及び引用文献

- 1) 芝正己・佐々木功：地形解析に対するスペクトル概念の応用(XII)、日林講要旨、(1983)
- 2) 芝正己・古谷士郎他：電算機を用いた数値地形解析による山岳地域の地形変動の計量化について(III)、京都大学農学部演習林報告、55、194-221、(1983)
- 3) 芝正己・佐々木功：情報量規準IC(Information Criterion)による統計モデルの評価と選択、日林講要旨、(1984)
- 4) 芝正己・佐々木功：情報量規準IC(Information Criterion)による統計モデルの評価と選択(I)、京都大学農学部演習林報告、56、98-120、(1984)
- 5) 内田晴夫：地形起伏の模擬発生に関する基礎的研究、かんがい排水研究室春季セミナー資料、1-20、(1982)
- 6) 内田晴夫・丸山利輔他：田面標高の自己回帰式と模擬発生モデルについて、農業土木論文、(1983)
- 7) Frieden, B. R.: Probability, Statistical Optics, and Data Testing, Springer-Verlag, 70-339, (1983)
- 8) 柴田里程：統計的推測方式とモデル選択、数理科学、213、45-50、(1981)
- 9) 石黒真木夫：情報量規準；モデルの良さを示すためのものとし、BASIC数学、11(5)、40-45、(1978)
- 10) 竹内啓：情報量統計量の分布とモデルの適切さの規準、数理科学、153、12-18、(1976)
- 11) Akaike, H.: Statistical prediction identification, Ann. Inst. Statist. Math., 22、203-217、(1970)
- 12) Akaike, H.: A new look at the statistical model identification, IEEE Trans. Autom. Contr., AC-19, 716-723、(1974)
- 13) 赤池弘次：情報量規準AICとは何か、数理科学、153、5-11、(1976)
- 14) Akaike, H.: A Bayesian extension of the minimum AIC procedure of autoregressive model fitting, Biometrika, 66、237-242、(1979)

- 15) _____ : A new look at the Bayes procedure, *Biometrika*, 65, 53-59, (1978)
- 16) _____ : Likelihood and Bayes procedure, *Trab. Estadist.*, 31, 143-166, (1980)
- 17) 赤池弘次 : 統計的検定の新しい考え方、数理科学、198、51-57、(1979)
- 18) Shibata, R. : Asymptotically efficient selection of the order of the model for estimating parameters of a linear process, *Ann. Inst. Statist. Math.*, 8, 147-167, (1980)
- 19) 竹内啓・大橋靖雄 : 統計的推測と標本問題、入門 | 現代の数学(11)、日本評論社、4-164、(1981)
- 20) 中川徹・小柳義夫 : 最小二乗法標準プログラム SALS (第2版)利用の手引き、東京大学大型計算機センター広報、(1979)
- 21) 赤池弘次 : 統計的推論のパラダイムの変遷について、統計数理研究所彙報、27、5-12、(1980)
- 22) 中川徹・小柳義夫 : 最小二乗法による実験データ解析プログラム SALS、東京大学出版会、11-196、(1982)
- 23) Ogata, Y. : Maximum likelihood estimators of incorrect Markov models for time series and derivation of AIC, *Jour. Applied Probability*, 17(1), 59-72, (1980)
- 24) Akaike, H. : On entropy maximization principle, In application of Statistics (P.R. Krishnaiah, ed.), Amsterdam, North-Holland, 27-41, (1977)
- 25) Shimizu, R. : Entropy maximization principle and selection of the order of an autoregressive Gaussian process, *Ann. Inst. Statist. Math.*, 30A, 263-270, (1978)
- 26) Ozaki, T. : Marked point processes and non-linear systems modelling of daily rainfall and riverflow time series in stochastic hydrology, Technical Report, 148, 1-16, (1981)
- 27) Tong, H. : Determination of the order of a Markov chain by Akaike's information criterion, *Jour. Applied Probability*, 12, 488-497, (1975)
- 28) Akaike, H., Arahata, E and Tada, F. : TIMSAC-78, Computer Science Monograph, 11, (1979)
- 29) Sakamoto, Y. and Akaike, H. : Analysis of cross-classified data by AIC, *Ann. Inst. Statist. Math.*, 30B, 185-197, (1978)

- 30) Sakamoto, Y. : A model for the optimal pooling of categories of the predictor in a contingency table, Inst. Statist. Math. Research Memorandum, 119, (1977)
- 31) 坂元慶行 : カテゴリカルデータにおける変数選択—プログラム CAPDAPを中心に、統計数理研究所彙報、28(1)、135-155、(1981)
- 32) Katsura, K. and Sakamoto, Y. : CAPDAP, Computer Science Monograph, 14, (1980)
- 33) Katsura, K. : CAPDAP a categorical data analysis program package, Computer Science Monograph, 14, (1980)
- 34) 赤池弘次 : エントロピーとモデルの尤度、日本物理学会誌、35(7)、608-614、(1980)
- 35) 赤池弘次・中川東一郎 : ダイナミックシステムの統計的解析と制御、サイエンスライブラリ情報電算機9、サイエンス社、(1972)
- 36) 有本卓 : 確率・情報・エントロピー、森北出版、28-217、(1980)
- 37) Tanabe, K. : Statistical regularization of a noisy ill-conditioned system of linear equations by Akaike's information criterion, Computation and Analysis, 6(4)、2-25、(1975)
- 38) Sugiura, N. : Further analysis of the data by Akaike's information criterion and the finite corrects, Commun. Statist., A7(1)、13-26、(1978)
- 39) Akaike, H. : Fitting autoregressive models for prediction, Ann. Inst. Statist. Math., 21、243-247、(1969)
- 40) 北川源四郎・赤池弘次他 : 局所定常自己回帰モデルによる適応制御系の実現、統計数理研究所彙報、27(1)、95-105、(1980)
- 41) Akaike, H. : Autoregressive model fitting for control, Ann. Inst. Statist. Math., 23、163-180、(1971)
- 42) 赤池弘次 : モデルによってデータを測る、数理科学、23、7-10、(1981)
- 43) Tanabe, K. : Fitting Regression Curves and Surfaces by Akaike's Information Criterion, Inst. Statist. Math. Research Memorandum, 62、(1974)
- 44) 田辺國士 : 不適切問題への統計的アプローチ、数理科学、153、60-64、(1976)
- 45) 秦野和郎・秦野甯世他 : 複合多項式による関数近似、情報処理学会論文誌、23(6)、617-624、(1982)

- 46) 高橋秀俊：FFT アルゴリズムについて、数値計
算のアルゴリズム研究会報告集、京都大学数理
研究所、38-56、(1972)
- 47) 富士通株式会社：FACOM FORTRAN SSL II 使用手引
書(科学用サブルーチンライブラリ)、53-57、(1980)
- 48) 田辺國士：統計的データの誤差処理、bit 臨時
増版、1383-1395、(1975)
- 49) 坂元慶行・石黒真木夫他：情報統計学、情報統
計学講座 A・5・4、共立出版、1-154、(1983)

第5章 地形特性の定量化因子と伐出生産¹⁾

5.1 地形起伏の「粗さ指数」としての残差量の有効性

ろ、次に、しす合、動抽
得は、高でと示場変は
り面をこ値きの項
よ何項や差りが、数
れ傾数。残偏。波級
こた級る、のる分和
し、成調くるかでの
析合、良え形が次り、
解てり、は考地事高な
和いあ性を本るのにと
調用で現形基け上事一
をを面再地、づ以るダ
形数似、成は置項え一
地級近程合量位数与オ
原工するる計て級きの
のりすあけ統し和度量
図一対はおる、と調程動
形フにれにれタるの、変
地重形す数ら一れ伏る
値2地成次えメで起れ
数た本合る、与う成の、
れ基であて、パ合面出

$$S_{tmtn} = \sum_{x=0}^L \sum_{y=0}^L [f(x, y) - \tilde{f}_{tmtn}(x, y)]^2 \quad (5.1)$$

$$\sigma_{tmtn}^2 = S_{tmtn} / L^2 \quad (5.2)$$

ただし

$$\tilde{f}_{tmtn}(x, y) = \sum_{m=0}^{tm} \sum_{n=0}^{tn} (\alpha_{mn} C_m C_n + \beta_{mn} C_m S_n + \gamma_{mn} S_m C_n + \delta_{mn} S_m S_n)$$

$$0 \leq tm \leq t1, \quad 0 \leq tn \leq t2$$

マ推平均較
スで平比
一っのを
へ從斜量
きに傾計
図式面統
形(5.2)斜の
地、I、性
万、で、I、特
1/5として、
いたし、地形
いと形の地
用象地つ
で対、3
章をとの
第3域との
第地域C
は、5 σ_{tmtn} 係
る、5係ある。
は、5係ある。
5.1す偏変のよ
とた、もれ斜計
表づし、たこ傾
ッ定値し、やの
30%

数らる合、
指れえ場、
形こののも
地、に、域
は、致量たの
異一定まれ
のた性をい
 σ_{tmtn} のた
と起伏さき、
の起解除る。
の応の理をい
で対形が域て
域間の地事地
域値に示部
地定様あ川を
推同で、値
のとタC定
値量一数一
係の

TABLE 5.1 STATISTICAL RELATIONSHIP BETWEEN STANDARD DEVIATION OF RESIDUAL EXTRACTED FROM HARMONIC TREND SURFACE, COEFFICIENT OF VARIATION OF ALTITUDE, TERRAIN INDEX AND MEAN OF MAXIMUM GRADIENT ON ALTITUDE MATRIX FROM FIVE DIFFERENT MOUNTAINOUS AREA.

Harmonic Number	Yotsuya	Kanmuri-yama	Ryujin	Kawabe	Satsunaigawa-joryu
0x0	117.28	240.51	175.66	108.56	301.03
2x2	90.39	152.17	123.53	55.80	221.70
4x4	75.16	113.02	97.01	45.96	163.89
6x6	62.80	94.14	79.98	35.06	123.81
8x8	54.38	76.34	68.79	30.31	107.20
10x10	47.31	64.37	59.36	26.94	89.66
12x12	42.73	55.46	53.01	24.21	75.27
14x14	38.90	49.00	46.75	22.13	65.43
16x16	34.68	43.95	41.85	20.18	57.47
18x18	31.02	38.19	37.28	18.35	50.07
20x20	27.28	33.06	33.24	16.56	44.39
22x22	24.07	29.32	28.97	14.70	38.02
24x24	20.07	25.25	24.41	12.73	31.81
26x26	16.13	20.02	19.40	10.20	25.10
28x28	11.04	12.84	12.80	6.74	16.43
29x29	7.07	7.75	7.10	4.13	9.55
30x30	7.07	7.76	7.57	4.14	9.71
C*	30.50	33.60	28.10	16.90	30.00
I**	71.60	79.34	76.10	43.60	105.40
θ ***	12.74	18.18	16.17	6.51	26.69
* Coefficient of variation (%) ** Terrain index (%) *** Mean of maximum gradient on gridded DTM (°) Map scale 1:50,000					

図5.1は、1次モードの σ_{tmtn} を100とした時の減少曲線を示しているが、14~16次合成ですでに全変数の70~80%を占め、最高次数の合成で95%程度の収束性を示し、これは1/2.5万地形図を対象とした場合も、まったく同様な結果を得た。

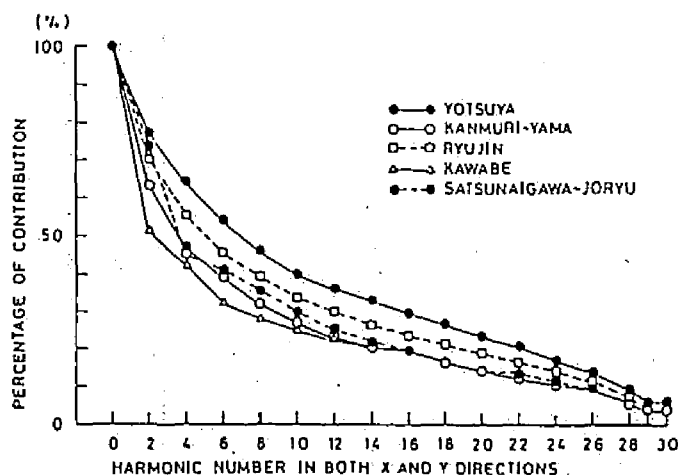


FIGURE 5.1 SCATTER DIAGRAM OF THE PERCENTAGE OF RELATIVE STANDARD DEVIATION OF RESIDUAL FROM HARMONIC TREND SURFACE VERSUS THE SUCCESSIVE TERMS OF DOUBLE FOURIER SYNTHESIS OF THE EQUIVALENT HARMONIC DEGREE. THE PLOT SHOWS THAT AN INCREASE IN THE TERM OF HARMONIC DEGREE IS ACCOMPANIED BY A DECREASE IN CONTRIBUTION RATIO. THOUGH NON-LINEAR BUT HYPOMETRIC RELATIONSHIP BETWEEN BOTH VARIABLES IS PERFECTLY REGULAR WITHIN EACH HARMONIC DEGREE.

σ_{tmtn} の推定値は、地域別に差異が認められるが、上の図の様に減少曲線のパターンは、いずれも類似しており、そこで、 σ_{tmtn} は誤差を含むフーリエ近似の収束性を与える量であるとも言える。これらの結果に基づいて、平均傾斜 θ および地形指数 I と、 σ_{tmtn} の関係をプロットしたのが図 5.2 と図 5.3 である。

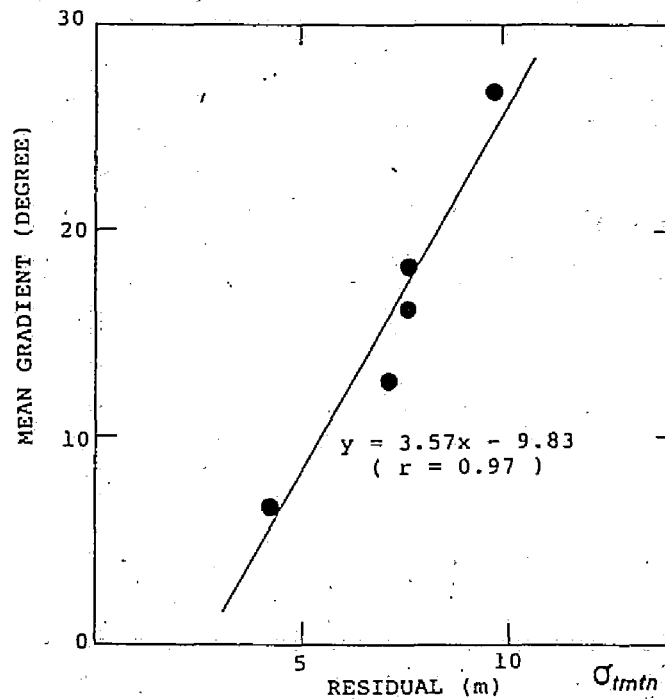


FIGURE 5.2 RELATIONSHIP BETWEEN STANDARD DEVIATION OF RESIDUAL AND MEAN GRADIENT OF LAND SURFACE. TWO VARIABLES ARE CLOSELY RELATED AND HAVE A RELATIVELY HIGH CORRELATION.

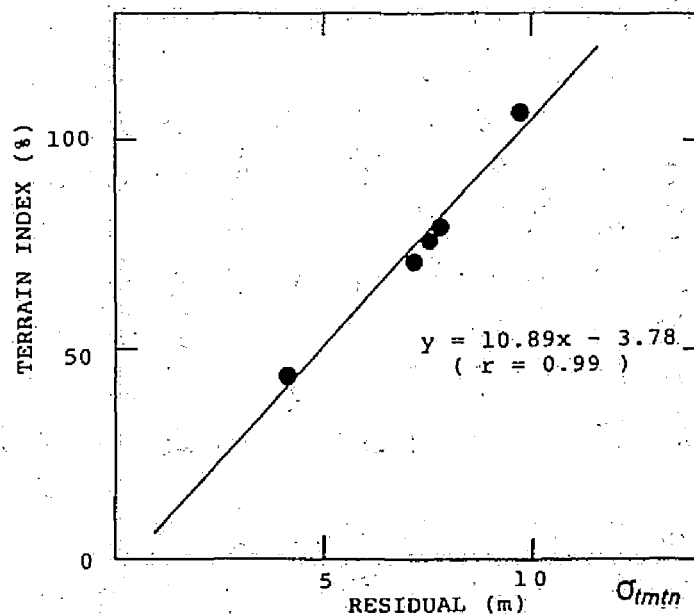


FIGURE 5.3 RELATIONSHIP BETWEEN STANDARD DEVIATION OF RESIDUAL AND TERRAIN INDEX OF LAND SURFACE. THE POINTS DEFINE A STRAIGHT LINE RELATIONSHIP.

認う考の残。定が言前を認つ
 かにを形たる算差はを題基一
 関斜事地しきの誤と係問をる
 相傾る、離で数やる関の予す
 い、あて分が指差あのなら因現
 高来でっら事形人で者か斜表
 て本夕従かる地個現両れ傾に
 めが一。面すた、表たこの的。
 極数める何握いは的れ、形量る
 け指うあ傾把用に量さは地をえ
 に形パで、てを定定示価。は度言
 者地たのはし図判もで評いは程と
 両、れも異と形のしこのな $\sim tmtn$ のる
 、はさる差い地度すこでが、伏あ
 も何出けな違に密必、要り起で
 に傾導ず的の般谷、が $\sim tmtn$ 必よの量
 合のてな域性一やりのる果面理
 場こいう地存、斜ああ、す結表物
 の。置、の依で傾ががは慮の地な
 れるをば性斜る地面れ考ら、的
 ずれトれ特傾こけ余いすたれて形
 いらいす伏のとおりなとこし地
 め上慮起差に入え提まとの

5.2 要素地形と把握の特性起伏するに布の差分と残分

値て位めあた。と理よき、の言がに
 数々の求でき度物に係合ら換現か
 布よ関で効て精の測関場れ、表る
 分に互形有し識差計互たこかなき
 、系相なて証認残形相え、る的で
 は標標様し異的る地の与がき質明
 析座座のとで所れとこを量での説
 分のこの報例場ら一造理出素て
 面定そ、情用はえ一タ構物校要、
 何一とり形応い午タ間な度形よ
 傾、値あ地のるてパ布空的程地に
 たを数での的あし布分る形の造
 し性布み面つ報と分のな地とて構
 用特(分試、く情報の素異のをし間
 適の所るかいは情報の素異のをし間
 て態場す造の置点れ形か残構性の
 し形る析構で位、こ地つの間特面る、
 対表い解問ま、ら、るくて空形何すは、
 に地てら空れはかしれいしの地傾討例図mesh度へ
 面たれかのこで点目ら、と素、な模事形標準密た
 表しさ係形はこ観着得し報要は様て用地標谷い
 地示定関地事こうにて析情報れのい適万の・用
 で規置たるい量、解点地すとい、
 250傾章Y
 域一量第何
 全り伏は方
 ぼよ起因北
 ほにに形南
 の線毎地
 林曲mesh値X、
 習長mesh数を
 演成、何
 生伏した方
 芦起定ま西
 学て決。(東
 大しをたつ
 都と24しッ
 京象24定マ
 対算ス
 24x
 mesh
 度へ
 標準密
 用地標
 谷い
 万の・用
 斜で

とする 5mm mesh の 120×120 の数値地形図)を用いた。
 図5.4は、この数値地形図から自動図化した対象
 地域のコンターマップ(コンター: 20m)および terrain
 block diagramを示している。

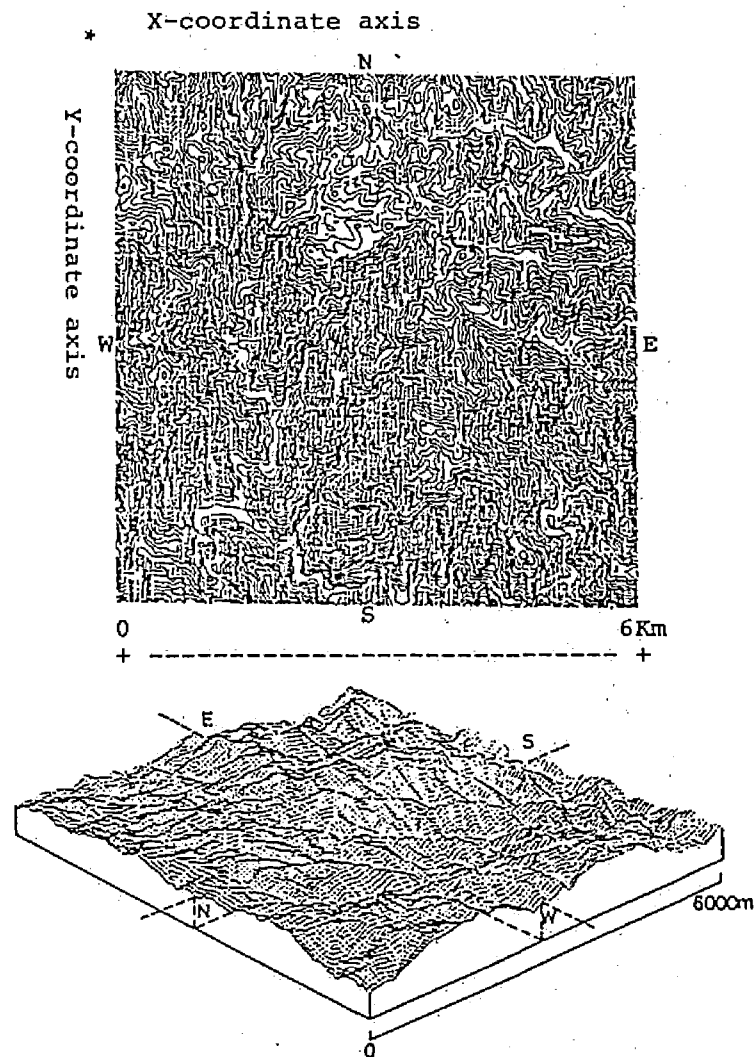


FIGURE 5.4 COMPUTER-DRAWN CONTOUR MAP(UPPER) AND TERRAIN BLOCK DIAGRAM (LOWER) FOR 120×120 DIGITAL TERRAIN DATA OF KYOTO UNIVERSITY FOREST IN ASHYU. AREA SHOWN IS 6×6 Km IN EXTENT. CONTOUR INTERVAL IS 20m, PROFILES DRAWN NORTH-SOUTH AND EAST-WEST.

な走。等い
かの斜て
ら根れ傾し
だ尾らた示
ないげしき
的しあ定図
較陵て算布
比にしら分
は分とか位
域部性図方
地東地形面
東南形地斜
北ら地値び
に、かな数
様央大くお
な中の同：5°
か、域は、
らし地は、
明呈該5.5
らを当5.5
起伏が図線
図起何値る。

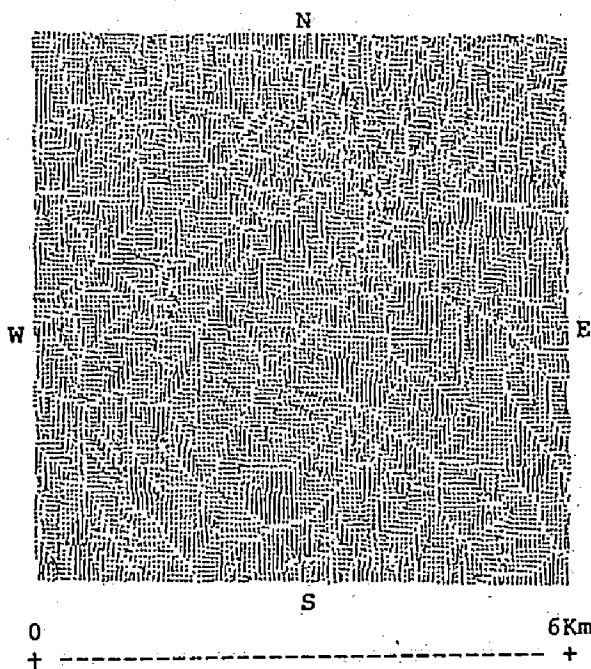
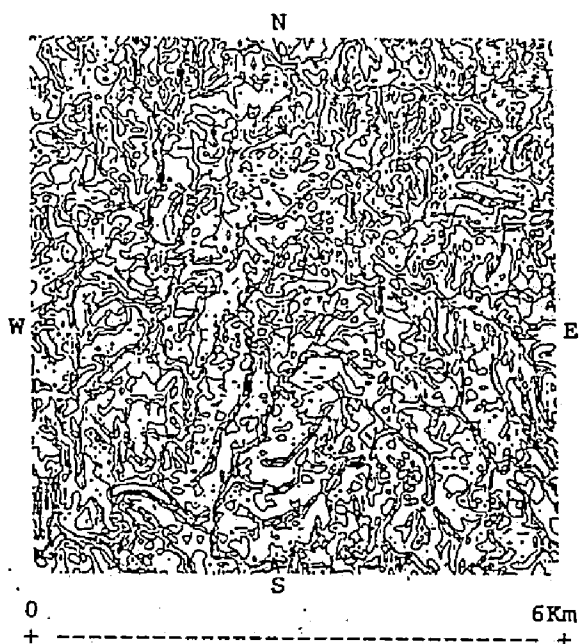
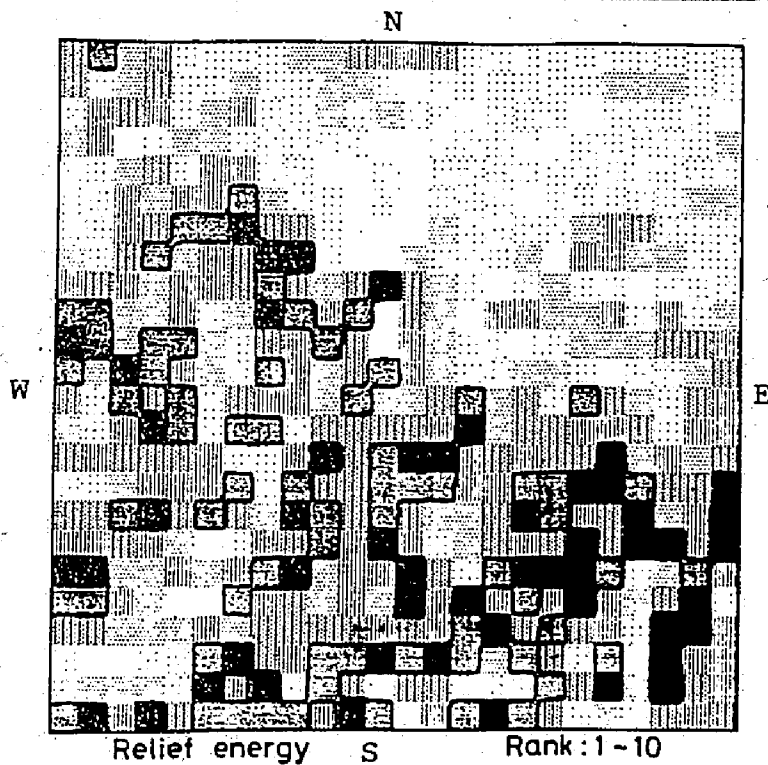
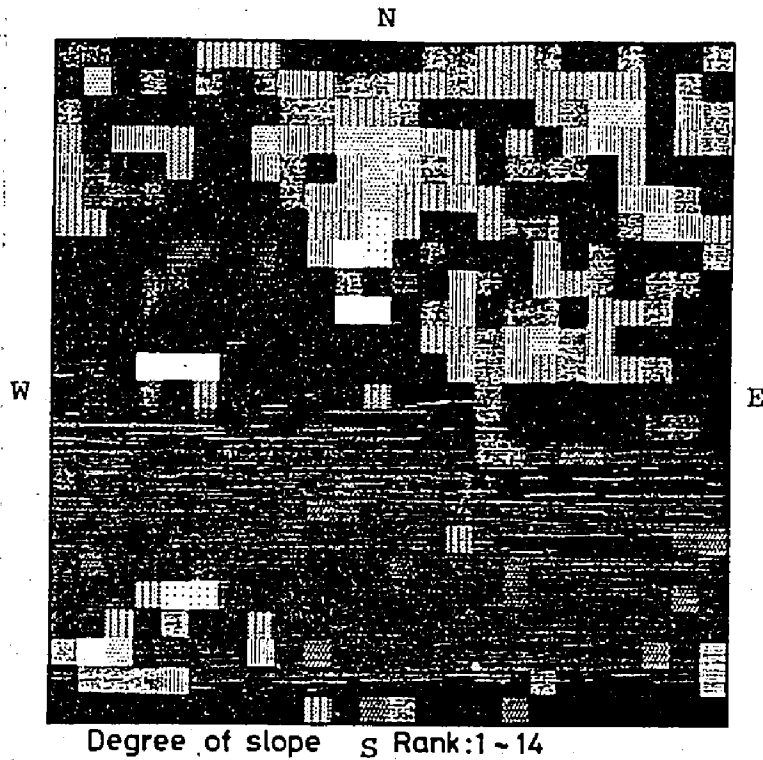


FIGURE 5.5 CONTOUR MAP OF TANGENT OF MAXIMUM GRADIENT(UPPER) AND DIRECTION OF GRADIENT SLOPE PLOTTED AS THE SCALAR QUANTITY(LOWER) CONTOUR INTERVAL IS 5°.

のコた。meshる状谷と
 点のしmesh終曲て谷
 低内用をで屈終を
 最mesh使和矢のをで
 とmeshを総中一のま
 点法のの夕も度
 高斜方数谷ニ、程
 最傾るのがコさ倍
 の、め谷端、大ニ
 内し求るのはりの
 meshとを切mesh定よ
 mesh量斜横mesh認め
 は、伏傾を、の幅
 定起形辺際谷谷付
 測の地の。かで
 のmeshのこた部
 素のらmeshし数與谷たれ
 要そか、ととの、しこ係
 形を数は度0.5谷し測、
 地差一度密をら做計にの
 各度夕密谷合か見て次と
 高ニ谷の場態とし、量谷

析ち、14形のを考性相合は、要にお、を地換ののる開
 開わ、1~4地も差ろ特た複量形値によ値各きここする
 対な：各すのか形しを析地対meshにの、置、越け
 相す斜程示度値地案布開る相mesh合量ににてし卓お
 る。傾いを程小る提分対けの、複析め布し較でに
 述べた、高度析最よかの相お1.0のは、開た分う比
 後与rank、が程開びに、素のに0~1.0はの量素対る規そにmesh
 にを10そ侵はお析藁形、mesh和開形の定てるmeshそ、る分分傾南はたと
 値rank1~10、いい値開て地る1rank対地こ特っすmeshはえの部、布し量る
 のrankはき違大、しのすでrank相のにをよにをを素言素い量り分較伏れ
 素れ量rank大の最でとら現和ののつ次素に準値素要と要濃伏がの比起さ
 要そ伏rank大の最でとら現和ののつ次素に準値素要と要濃伏がの比起さ
 形れ起のくrankにここてrank要。をる形準一素形卓も地濃、が西毎れ理
 地そ、らきのめ。の、しrank形る度あ地基同要地のたの濃が分、meshらか
 rank、れ大毎たる法とと高地あ程でるをを形るこしつ。る部りmeshめ事
 らrankこが素るあ握いブ最、で析のす値素地と。現三るいいお、認る
 1~8、値要すで把用ッのしの開も右対要たをす表、あてさてたがす
 係1~8、値要すで把用ッのしの開も右対要たをす表、あてさてたがす
 区た的量子要をた対しにの地さ大見因、6の示の中。相存
 合析三形和し相現的素各化最と素とををrank集るの
 換る表極要、準で素の因た域rankがい正係
 積形え基内要析し地へ分てい関

り、しるにとおが係
 お有あ域の西分関
 てきで地も北部互
 し徴素該た、の相
 有特要当けは位な
 を的成、付て高確
 念態構が裏いて明
 概形一事をつの
 ののの係に谷と
 面を面こ関布に間
 斜な斜、例分系素
 体斜とり比度水要
 自傾量あの密る形い
 れ・伏で間谷す地た
 そ率起位素、置他が
 曲、同要た位、め
 付・ては形まにが認
 量さっ係地。分ると
 伏き従関両る部いん
 起大。のもれ東てと
 のはるとてら南しほ
 内面い斜いえび現、
 横斜て傾お考す出は



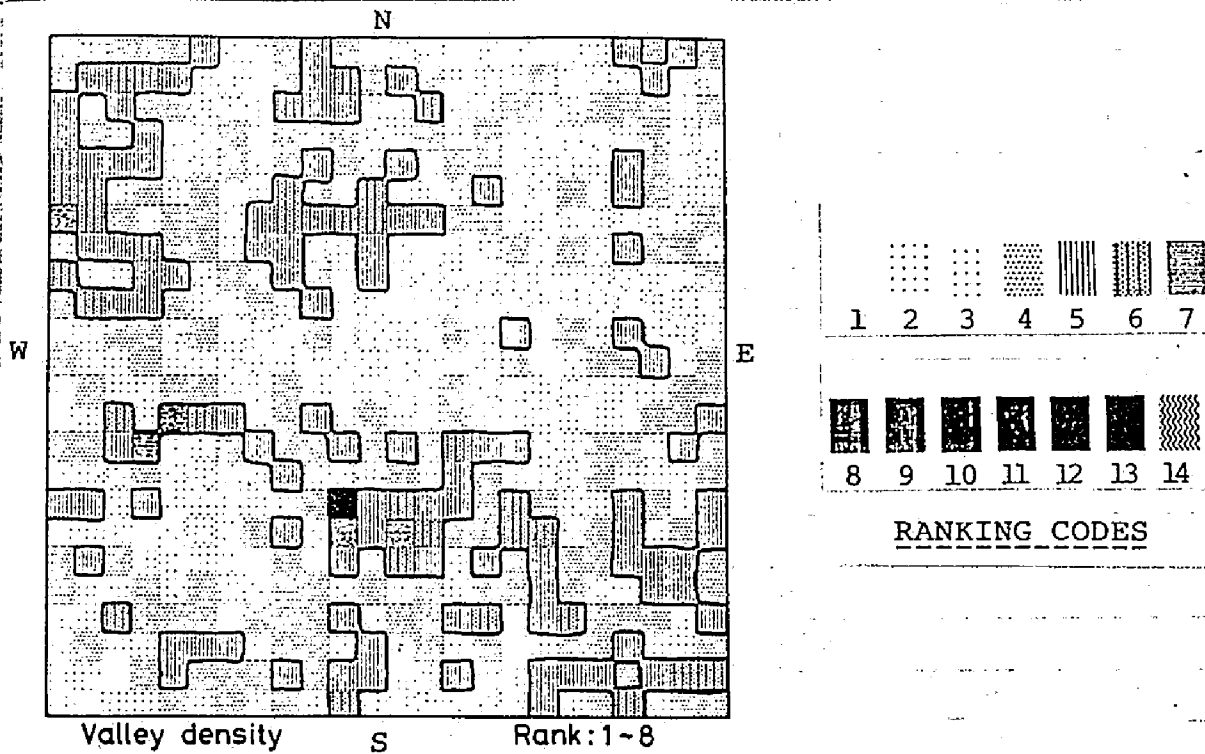


FIGURE 5.6 RANKING MAPS TO SHOW THE SPATIAL DISTRIBUTION OF THREE TOPOGRAPHICAL ELEMENTS OF RELIEF ENERGY, DEGREE OF SLOPE AND VALLEY DENSITY.

布、か部減す般た
分治向尖に呈一似
のに方中々を。く
こ系西、序地い良
る。水北たが盆なと
いは、はき量のい図
て域地る開部し分
し地のいて東現斜
示位らてっ北出傾
を高めし向、とび
図量こ示にれんよ
量析、を向らとお
析開り性方めは量
開対お繞東認は伏
対相て連北が域起る
相、しのら向位はい
と中へか傾高布て、
はる集何分くは分し
7すに方部行での示
5観分東塊て域こを
國概部南山し地、造
をたら、の少るに横
谷越お一は開越北
は卓布で、量、卓の
分を分的析は、か域
部量素照開で斜地西
い伏要対対域傾該北
黒起形て相地や当び
のが地めはる量、よ
中分。極でい伏はお
図部ると分て起の東
いある部し。る南れ
る白でする越るれ、
あ、域較い卓いさ域
で斜地比てがて示流
図傾たとし斜、がの
素がれ布越傾な越て
要分さ分卓、く卓り
越部定量が量きのか
相、しのら向位はい
と中へか傾高布て、
はる集何分くは分し
7すに方部行での示
5観分東塊て域こを
國概部南山し地、造
をたら、の少るに横
谷越お一は開越北

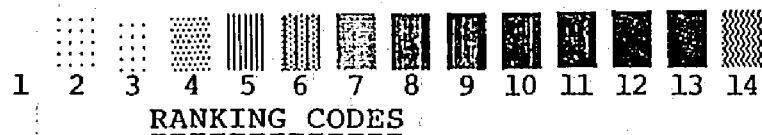
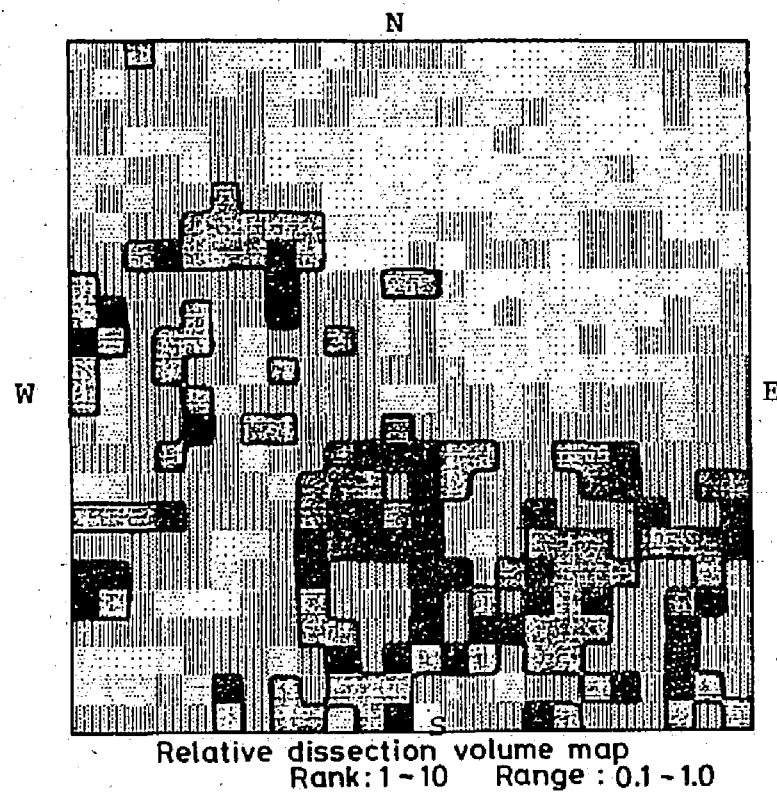


FIGURE 5.7 RANKING MAP SHOWING DISTRIBUTION OF RELATIVE DISSECTION VOLUME WHICH EQUALS TO THE SUM OF THREE RANKS IN ONE MESH DIVIDED BY THE SUM OF TOTAL RANKS FOR THREE ELEMENTS.

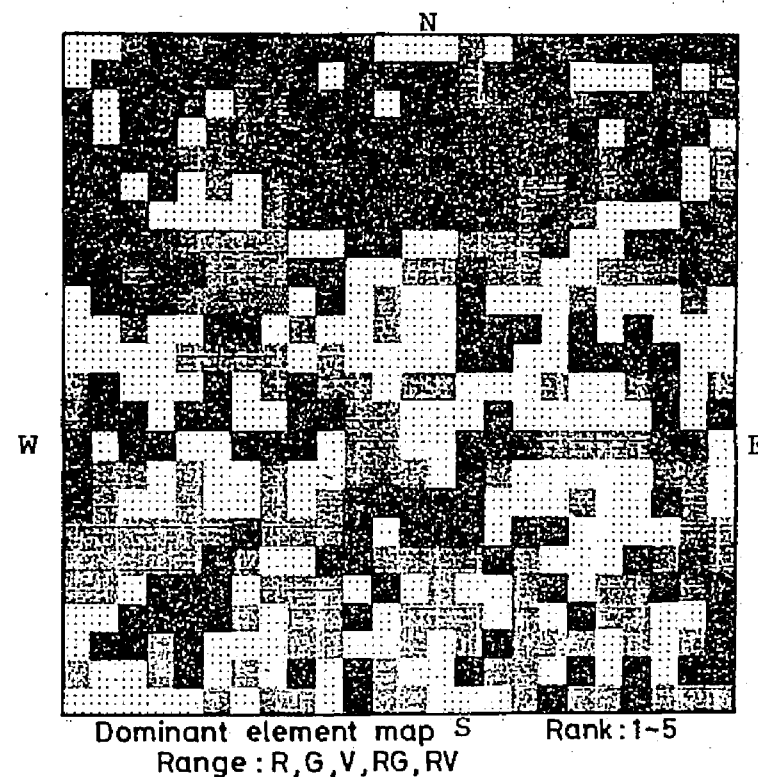


FIGURE 5.8 DOMINANT ELEMENT MAP SHOWING DISTRIBUTION OF MAXIMUM VALUE COMPONENT, WITH REPLACING THE ABSOLUTE VALUES OF THE THREE ELEMENTS IN EACH MESH WITH VALUES ON THE SAME BASIS BY STANDARDIZATION.

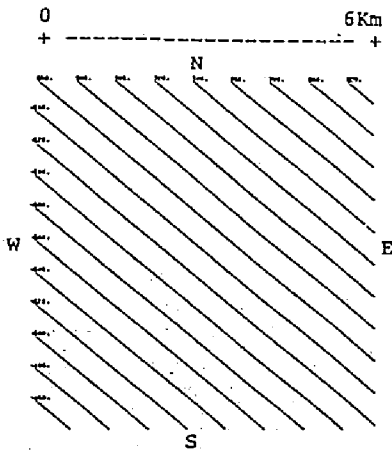
傾る分要りな一好異を
 面に素諸偏れ、良差面
 表現越記的めよれ著傾
 地表卓上層認おず顕る
 るてび、階ど式い、がよ
 れ、よは、やん項もるに
 らよおで性と多てい、似
 えに量こ形ほ、いて近
 与面析こ線がにおし式
 て向開。が向様に上項
 っ傾対る二傾す次何多
 よの相する一な示低ね、
 にこ、討タ的にか概ら、
 図、素模パ期2度もか
 形し要を布周5合度事
 地用形係分、表適合い
 値適地関なり、の適な
 数と互的おた、のれ
 、析造相間てき、次らる。
 に分構の空し、毛高めす
 次面間との呈事工、認用
 何空布素をいり、で、採

TABLE 5.2 COMPARISON OF POLYNOMIAL TREND SURFACE WITH DOUBLE FOURIER SERIES SURFACE FOR ESTIMATING GOODNESS OF FIT WHICH EXPRESS THE PERCENTAGE REDUCTION IN TOTAL CORRECTED SUM OF SQUARES ACCOUNTED FOR BY THE FITTED SURFACE.

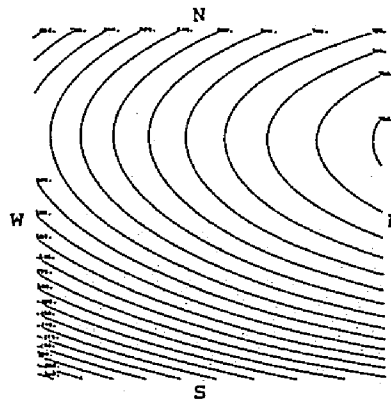
POLYNOMIAL MODEL		FOURIER MODEL	
ORDER	GOF*	ORDER	GOF*
3	55.98	3	50.34
4	62.50	4	60.64
5	70.54	5	68.95
6	74.04	10	86.99
10	82.58	20	93.60
12	83.66	30	97.22
14	87.28	40	98.34
16	88.12	50	99.19
17	88.54	56	99.88

* -REMARKS- GOF: GOODNESS OF FIT

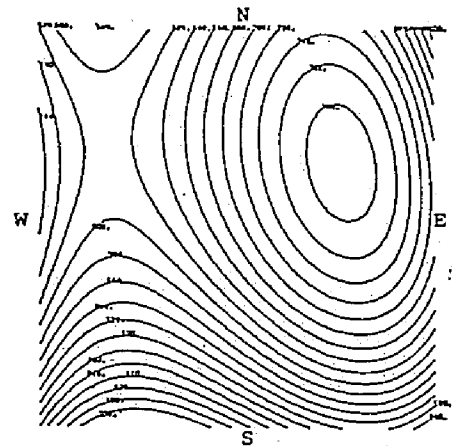
これ、面分存な次、瞭
 び、南差がれ、明
 およ、残性、をて
 面、北、示、規、認、次、と
 何、は、二、空、異、面、パ、タ、ー、ン
 傾、る、は、二、空、異、面、パ、タ、ー、ン
 たい、で、一、瞭、と、傾、的
 して、面、タ、明、ん、間
 用、し、何、パ、た、も、空
 適、示、傾、間、は、布、の
 に、を、の、空、沿、は、分、そ
 域、図、次、た、に、差、と、
 地、布、2、し、面、二、残、と、
 該、分、や、斜、続、一、の、る、る。
 当、差、次、傾、連、タ、こ、げ、め
 は、残、工、な、の、パ、上、始
 5.9、す、り、か、こ、布、し、と、れ
 5.9、す、り、か、こ、布、し、と、れ
 図、対、図、な、に、し、し、次、表、現
 に、に、布、在、い、4、に



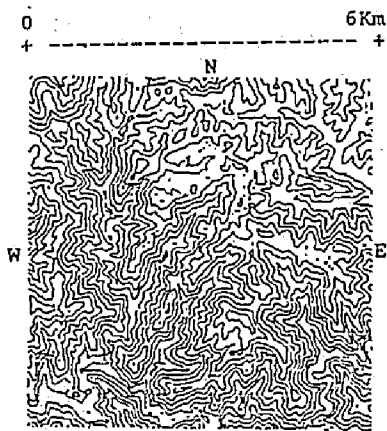
* 1ST-DEGREE
TREND SURFACE
CONTOUR INTERVAL : 20m



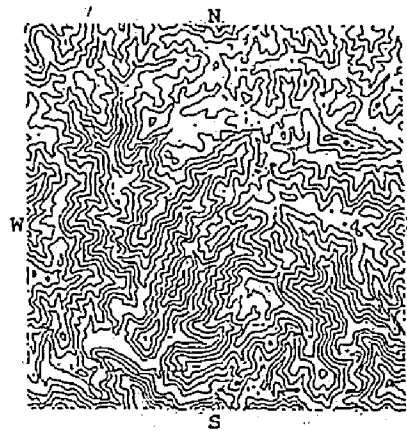
* 2ND-DEGREE
TREND SURFACE



* 3RD-DEGREE
TREND SURFACE



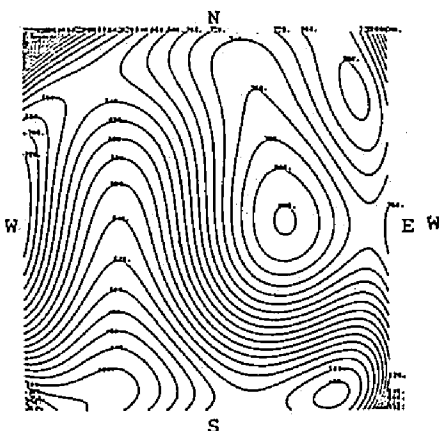
* 1ST-DEGREE TREND
SURFACE RESIDUALS
CONTOUR INTERVAL : 50m



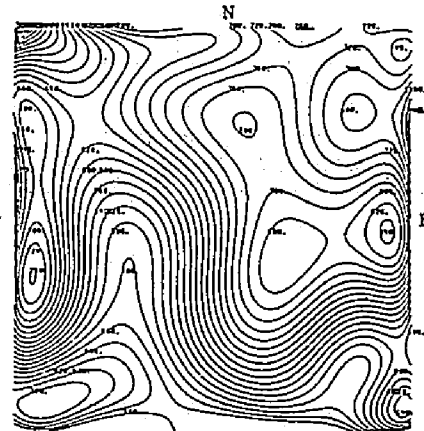
* 2ND-DEGREE TREND
SURFACE RESIDUALS



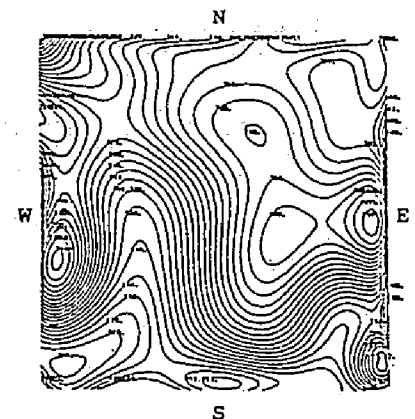
* 3RD-DEGREE TREND
SURFACE RESIDUALS
(SHADED AREAS INDICATE NEGA-
TIVE RESIDUALS)
CONTOUR INTERVAL : 100m



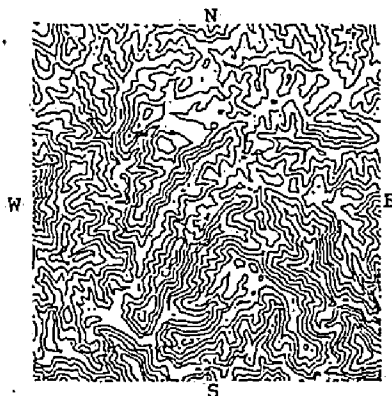
* 5TH-DEGREE
TREND SURFACE



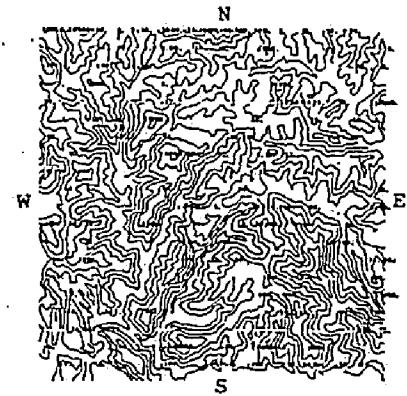
* 8TH-DEGREE
TREND SURFACE



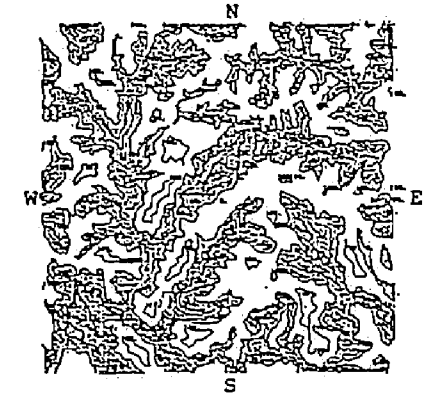
* 9TH-DEGREE
TREND SURFACE



* 5TH-DEGREE TREND
SURFACE RESIDUALS
CONTOUR INTERVAL : 50m



* 8TH-DEGREE TREND
SURFACE RESIDUALS



* 9TH-DEGREE TREND
SURFACE RESIDUALS
(SHADED AREAS INDECAE NE-
GATIVE RESIDUALS)
CONTOUR INTERVAL : 100m

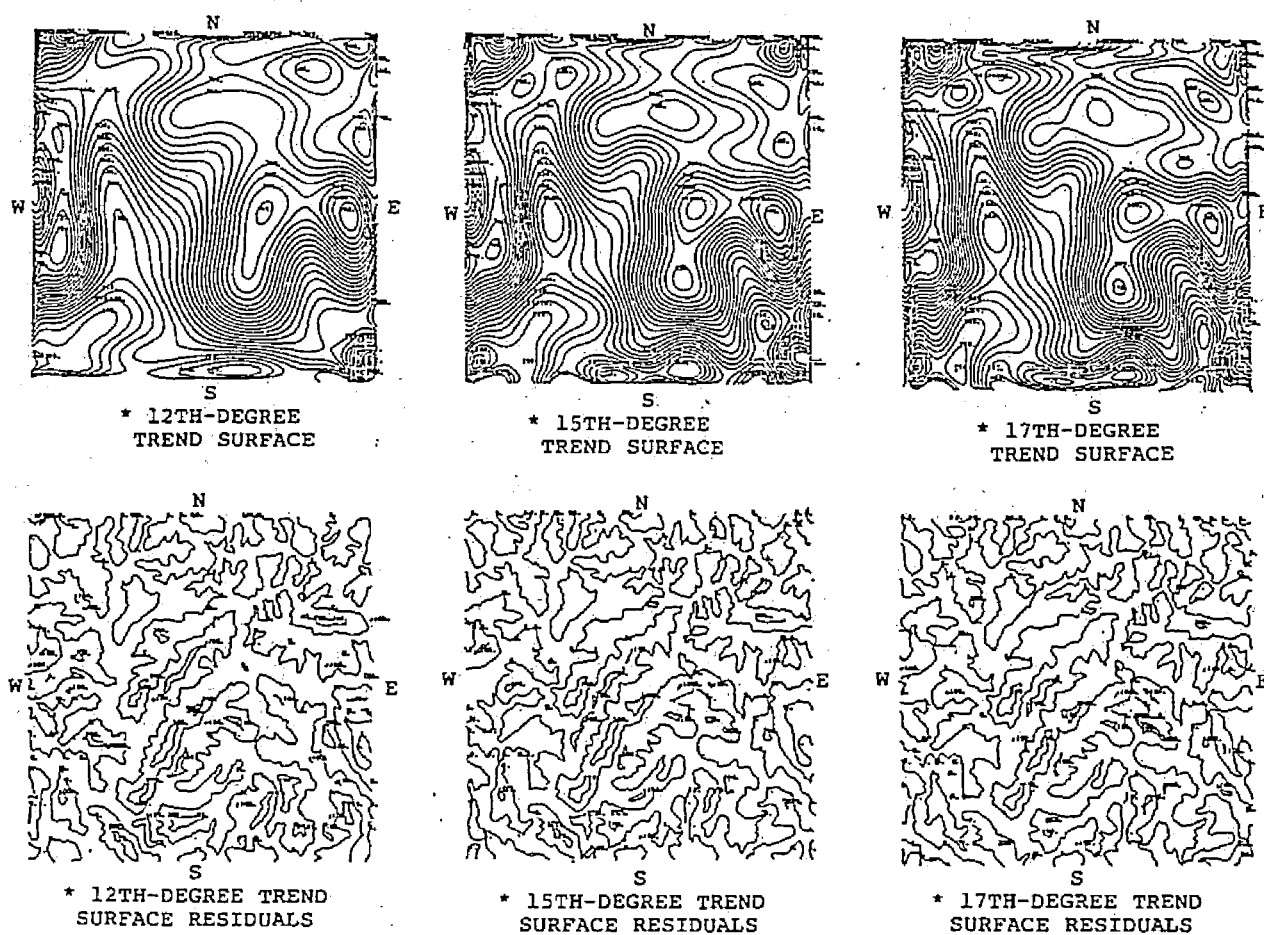


FIGURE 5.9 RELATIONSHIP BETWEEN TREND SURFACE AND RESIDUALS IN ALTITUDE VARIATION. RESIDUALS ARE OBTAINED BY SUBTRACTING FIRST, SECOND, THIRD, FIFTH, EIGHTH, NINTH, TWELFTH, FIFTEENTH AND SEVENTEENTH-DEGREE POLYNOMIAL TREND SURFACES.

に円し系、れの判把を傾ニ成峰はに
 向心成水、らここに%、一作切れ座
 方同形る、認め、確分80にタて、す即
 北るをか、認塊明亮ん布パいり言っ
 南れ部抗。に山かも70分的つお換か
 はら谷うる先の界りの差間にて。に
 一見やかれ、て境が動残空域しる的
 タに根分らはけの抗変のの地致い観
 ニ上尾部めでか系の全う値該一で客
 コ右、西認面に水地、か差。当くしりる。
 け、し、南て向向る盆は面残る、良もよえ
 で面をほと、の東流す向傾もく面と役もと
 面斜性域地次南て置傾のてな向図たりる
 何な特地盆8うし位のらしれ傾面せよい
 傾急形ののやか回にられ用らの峰か図て
 の的地ら分次部迂部れこ適めら切描面し
 次較のれ部5突ら東こや再認れので峰行
 る比造こ東、中か北。はをここ10機切突
 、る構。北に、た分、るも析ん、5算はを
 ば、あいるびらっ部れき、分と際図電面化
 え向近いよさか東さでめ面は実たを向図
 例走にてお、な南別握点向はし面傾地

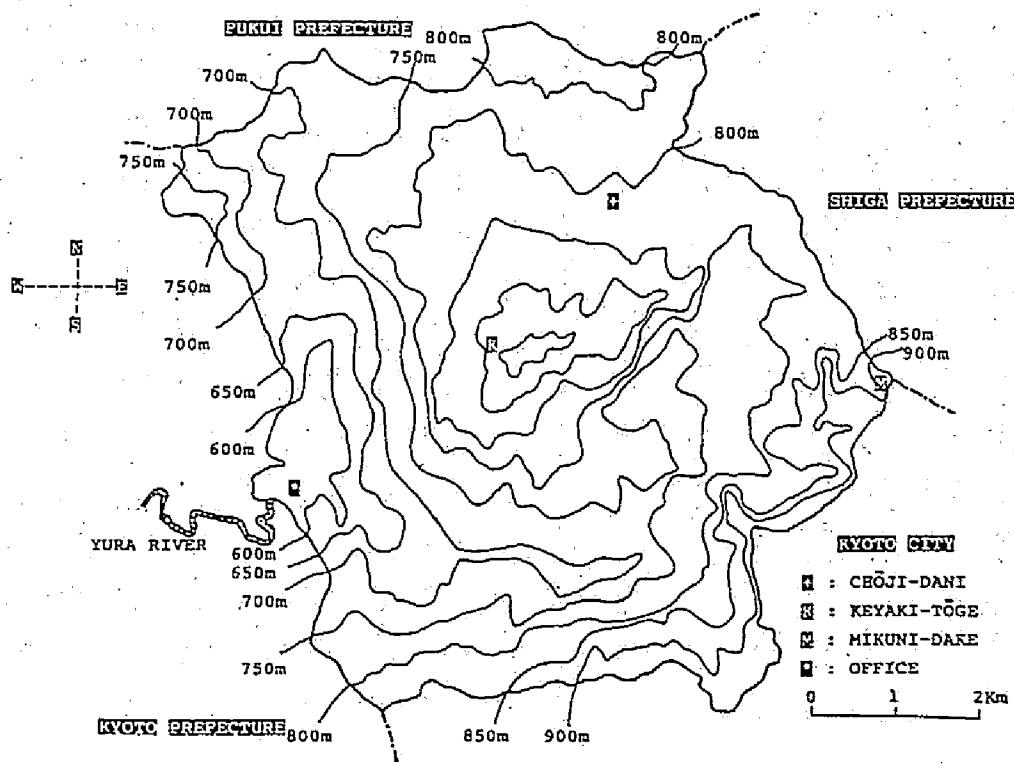


FIGURE 5.10 MANUALLY CONTOURED SUMMIT LEVEL MAP OF STUDY AREA.
 CONTOUR INTERVAL IS 50m.

正值い。の低すにの動対す置図
 、差な負るでり明面×5変のににで
 と残いもい分よ説準5でとか量図
 るいてでて部れを基のれ素ら対布
 見きし正しなくた図を要明相散
 を大化り大細、多し形、諸をてて
 布で変す拡張がの似地めの異しし
 分負がつ、のる性近値求述差化と
 差び縁、は布れ特で数を前の準
 残よ外域分分的。面ら差。で標rank
 びおの地部のめ造る向が残る間を10
 よ域そたい値認構い傾なてす数量の
 お地もれな差にのてをせし現次対で
 面すときさ残分形し部々と表の絶ま
 向示者図示や充地示一動値に面の9
 傾を面にを面は、をの移の的向値0~9
 の値、域値向性も事面を量傾差を
 次差は地差傾敏でな表心meshを、残値
 高残域面残、鋭面能地中準、に、の
 にい地、なはの何可、基さびにこ
 らきすしき事上傾がにてを粗らめ、た
 さ大示が大の別の事次しmeshのなたしし
 でをしもこ識次る対mesh面応る換化

17 性つ序起適きかま々ことしのまをパ

び 続に族のく大か。パはムと面。性る
 よ 連る、面良の手る的事不性何の特す
 お、なめ表が値すれ間す二特傾い伏現
 次、にに始地面差出さ空示カ形なて起表
 15。布次れ、何残い定のをメ地的しのに
 、る分高さは傾、見肯差性の、視味面的
 次の、現事つてさか残似布り巨意動量。
 10て間し表の持つ性事る類分あ的を要て
 、し空対にこを従特るれと間で較事、しい
 次示のに瞭。異、形いら布空用比るかとて
 5さ値の明る差り地用見分の有、れ値度し
 、果差るはなあ的をで量素にかさ差程峻
 次結残れ異く則で所値面伏要際現残の示
 3る、ら差難規映局差向起形る表表のたも
 、すはめのめ、反の残傾や地す的ててひ事
 次対で認布認てのかのの度か析質、し“谷る
 2に面が分もし事らこ上密面解のよとはあ
 、面向域差向対る何、以谷向を素に量いで
 は向傾領残傾にいにて次、傾又要造形る夕
 11傾のす、た化て分し5かのセ諸構地あ、一
 5の次示て、変し部と、こら口の間、さメ
 図次低をれた伏合いりた、れプで空た粗ラ

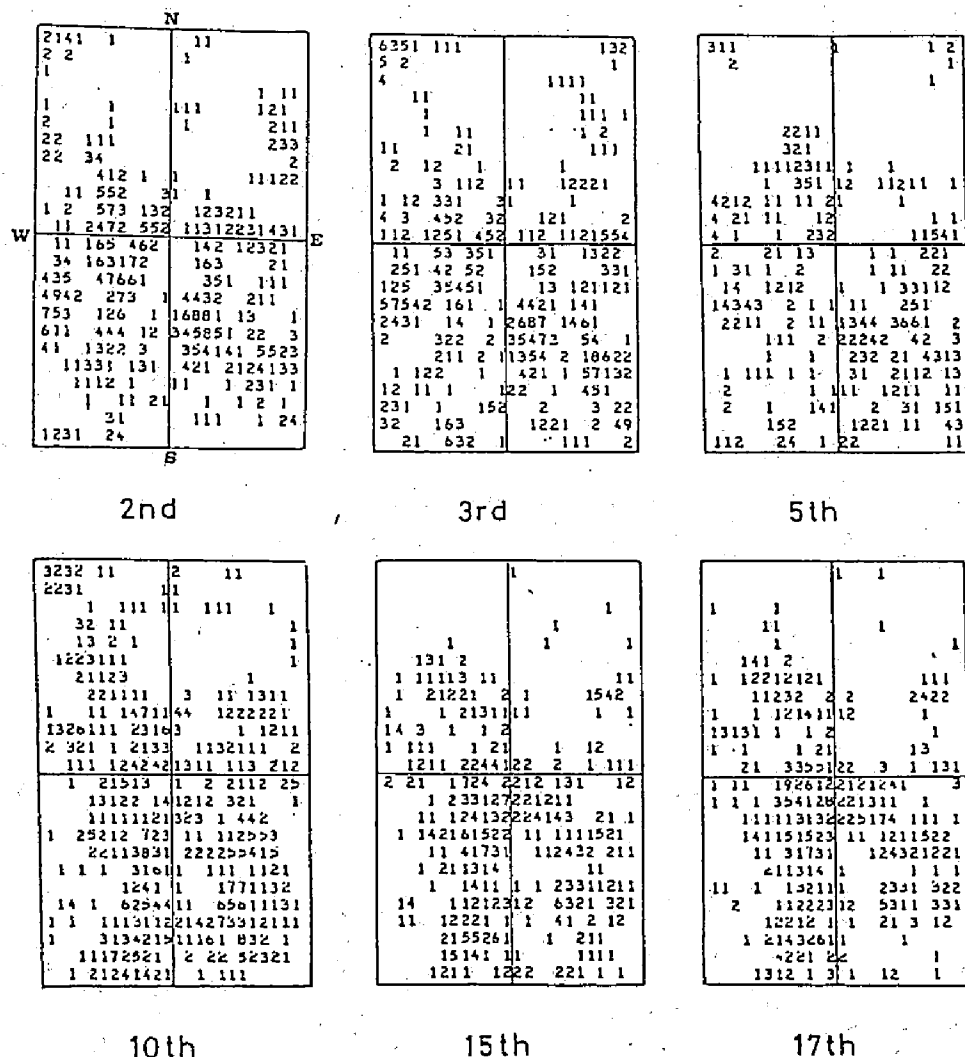


FIGURE 5.11 SERIES OF SCATTER DIAGRAM SHOWING RELATIONSHIP OF n TH-DEGREE POLYNOMIAL TREND SURFACES AND RESIDUALS (STANDARDIZED VALUES) TO DIGITAL TERRAIN DATA OF STUDY AREA.

5.3 傾向面モデルと林道開設における土工量

え林切、で周裡沿混総た。林
与をのち標道工道石道し設
に差際わ指標林工林乾林と既
的残のな、土て、岩し、子
量の設すつと、し軟和明管
を、この開。置くこ見、総説署
“粗で林す易にそと石をを林
のこ、計難提³⁾。素土の量常
面をし、模設前る要通も工四
表。做し、作をけな普る土内
地。る見て、法受的、れ取管
は、れといは、エリ質さ切局
差え化に工計かを基分り常
残考変応土設を量に、当屋
のての対のな響工書⁴⁾に古
ろし形の際的影土調硬した名
かと地との一の取過、した名
面量の量設画形切経石除は、
傾向形辺工開、地、事岩で料
る道取林あ辺の山土延、長資

道40路線(開設年度:昭和50~53年)を調査対象路線とした。調査路線は、いずれも幅員3.6mで、特殊構造物あるいは施工法をとるものは除外し、比較的標準的な設計施工に基づくものを選択した。

数値地形図は、 $1/54$ 森林基本図(コーナー:10m)に当該路線がほぼ中央に位置する様に、5mm mesh(実距離:25m)、 20×20 の大きさで設定し、地形図の東西方向をx、南北方向をyとした。(3.6)~(3.10)式に従って、座標系に対して等価の調和級数項毎に2重フーリエ級数による傾向面近似を行い、変化量のパラメータとして、最高次($t_m = t_n = 9$)の残差の標準偏差 σ_{tmtn} を採用する。

まず、 σ_{tmtn} と林道周辺の地形特性について見ると、路線毎に推定された σ_{tmtn} は、

$$\sigma_{tmtn}^{\max} = 7.59 \sim \sigma_{tmtn}^{\min} = 1.29$$

と地域によって著しい違いが認められる。そこで、 σ_{tmtn} の値によって対象地域をグループ化し、個々に地形的特徴を概観すると、 σ_{tmtn} は比較的単純な沢谷いの地域で小さく(Iグループ)、逆に傾斜の急な中腹斜面を有する所では大きくなっている(IIIグループ)。また、沢および斜面から成っている地域では、この中間型をとっている(IIグループ)。

$$\text{I: } \sigma_{tmtn} \leq 3 \quad \text{II: } 3 < \sigma_{tmtn} \leq 5 \quad \text{III: } 5 < \sigma_{tmtn}$$

図5.12は、個々のグループに属する代表的な地域を、ベースマップから自動図化したもので(コーナー:10m)、前述の地形的特徴が良く表われている。なお、同時に推定した全地域の変動係数CVは、

$$CV^{\max} = 12.6 \sim CV^{\min} = 1.8 \quad \overline{CV} = 5.1$$

となり、これらの値にもかなりの地域差が認められる。

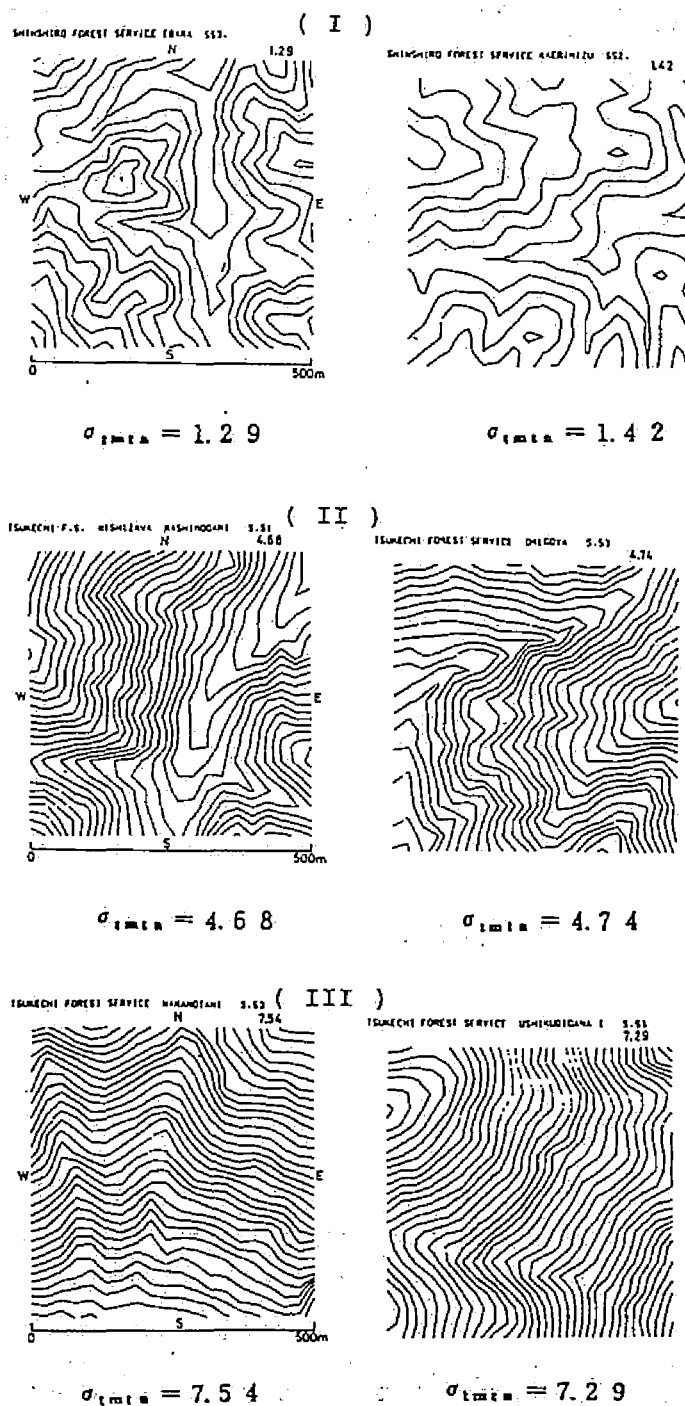


FIGURE 5.12 CONTOUR MAPS OF SIMILAR TYPE OF TERRAIN CONFIGURATION CLASSIFIED BY THEIR TREND SURFACE RESIDUALS.

次に、 σ_{tmtn} と傾向面の斜率に、図5.13に示す様に、両者の勾配に比較する。一般に、 σ_{tmtn} は傾向面の勾配の結果を裏付けて比較する。また、第3章で、傾向面の勾配に十分な説明力をもたらし、合成の傾向面から、図5.14は、2次傾向面だとして、この関係を示す。図5.13における σ_{tmtn} の小さい領域で、対数回帰により示している。

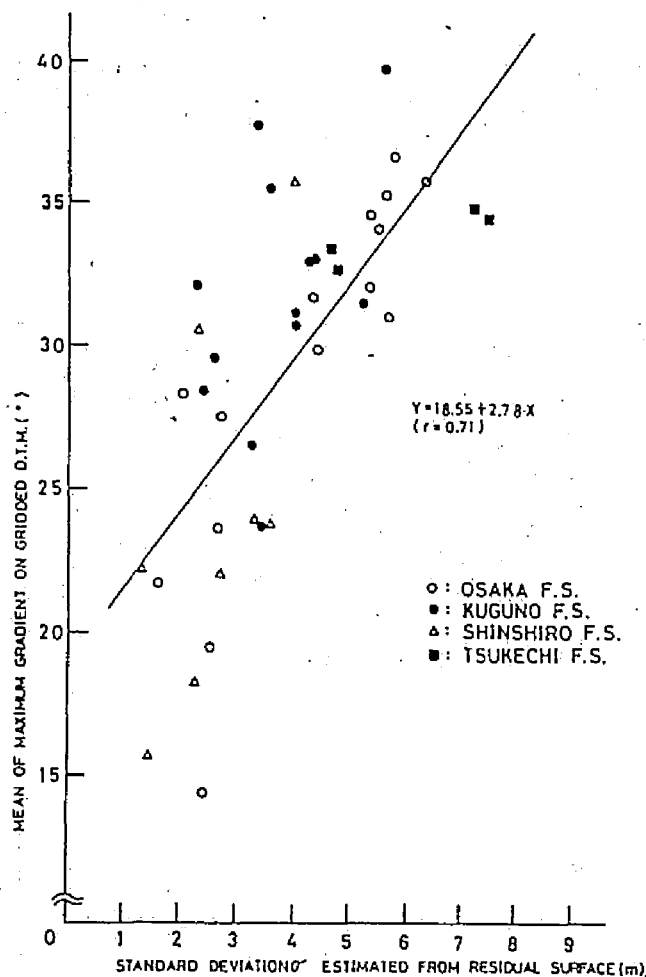


FIGURE 5.13 RELATIONSHIP BETWEEN STANDARD DEVIATION OF RESIDUAL AND MEAN OF MAXIMUM GRADIENT OF TREND SURFACE BY THE HIGHEST HARMONIC DEGREE. STANDARD DEVIATION INCREASES MUCH MORE RAPIDLY OVER LOW MEAN GRADIENT. VARIABILITY SHOULD BE CHARACTERIZED AS HIGH OR LOW IN RELATION TO THE BEST-FIT LINE.

ここでも同様に、極めて高い相関関係が認められる。すなわち、この結果からも、傾斜に関する地形情報が調和級数項の低周波部の基本地形によって、十分に得られる事が理解される。

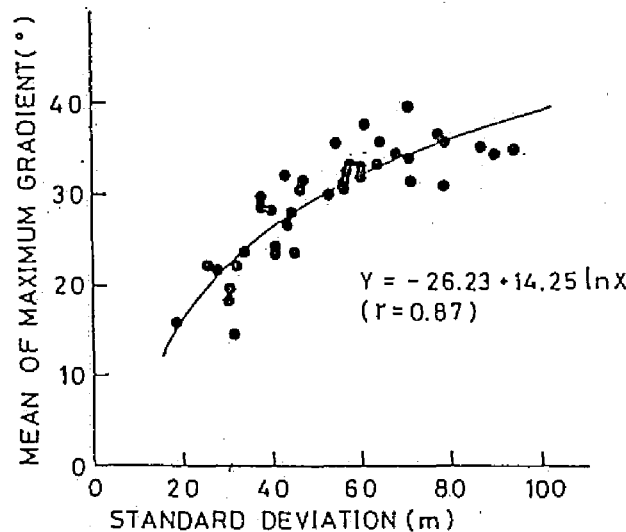


FIGURE 5.14. RELATIONSHIP BETWEEN STANDARD DEVIATION OF RESIDUAL AND MEAN OF MAXIMUM GRADIENT OF TREND SURFACE BY THE 2ND-DEGREE HARMONICS. THE POINTS DEFINE A CURVILINEAR RELATIONSHIP, WHICH IS ONLY COARSELY APPROXIMATED BY THE STRAIGHTLINE COMPARISON.

次に、図 5.15 は、数値地形図から算定した傾斜と切取土工量の関係を示している。両者にはかなりの相関が認められ、切取土工量が林道周辺の地形傾斜に影 響されるといふ、従来 4)-6) の報告と一致する。さらに、 σ_{tmtn} と切取土工量の関係を示したのが図 5.16 で、ここでも、一般的に σ_{tmtn} が大きくなる程、土工量も多くなる傾向が認められる。

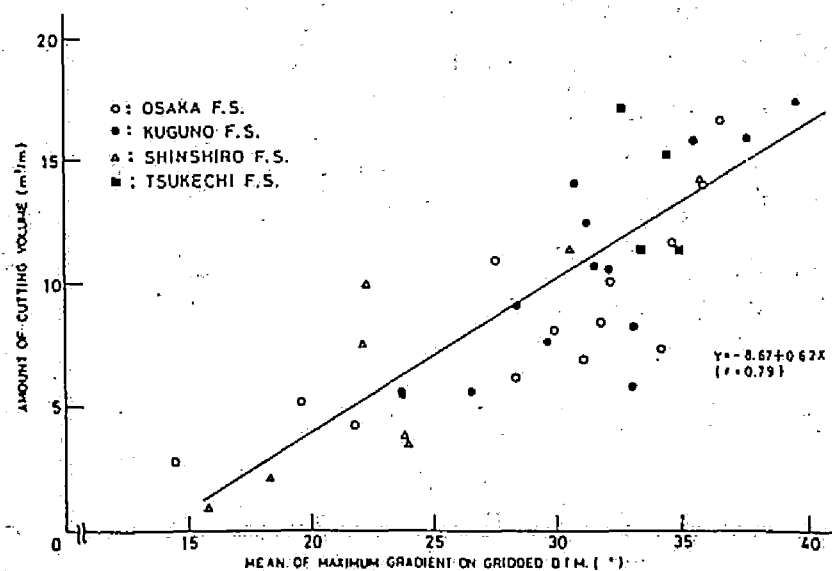


FIGURE 5.15 RELATIONSHIP BETWEEN MEAN OF MAXIMUM GRADIENT OF LAND SURFACE AND THE CUTTING VOLUME (m^3/m) OF EARTH WORK OF FOREST ROAD CONSTRUCTION. TWO VARIABLES ARE CLOSELY RELATED AND HAVE A RELATIVELY HIGH CORRELATION.

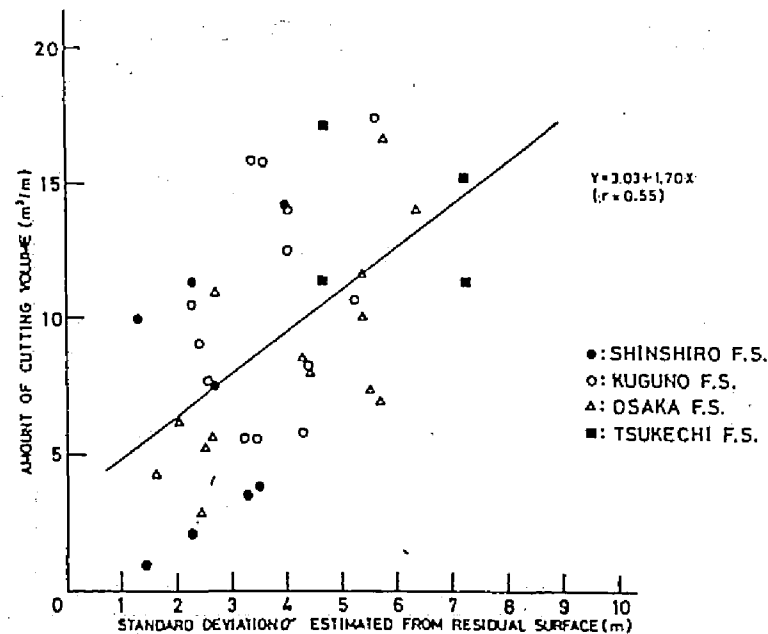


FIGURE 5.16 RELATIONSHIP BETWEEN STANDARD DEVIATION OF RESIDUAL BY THE HIGHEST EQUIVALENT HARMONIC DEGREE AND THE CUTTING VOLUME (m³/m) OF EARTH WORK OF FOREST ROAD CONSTRUCTION. IT IS CONSIDERABLY INADEQUATE TO FIT THE LINEAR OR FIRST-DEGREE CURVE TO THE RELATIONSHIP.

にる差差る傾因こし、減で定逆束
図けのたが歸をけるののーに収
西か力こわ差に量付れのもほ様の
、な明に、残事エサさしたほ同上
、う説が域、く土重待したほ同上
るにる全しづ取、期てト線例以
え分よきの対基切はが、いッ曲た90%
考亮にで域にに、事に少しは
さはタ較地の報て際るにプ減示で
係応一化象る情るす域て、で成
関対メて対れ形従す上地しくま合
ののうしから地。定何の対なれの
斜とパと斜え的る推はプに係この
傾量西い傾手所れら度一項関、高
一エ、遠面て局マハ精ル数にし、
値土たの斜した解タのグ級値化り、
差取ま数のとし理ーそ工和の変あるかり、束響、関
残切。係面報離もメは、調ででい果ーり収影に互
たるる定何情分事ラれは、 σ_{tmtn} の結フあのに様相
しれあ決傾形らるパす17を、 σ_{tmtn} の乗しのはでこ斜なの
述らで、地かいの価と線。タキ示上にタ、傾かと
前めのは、的面でら評図曲るパを以的ーたのら量
認る異異面何しれて、少あの算性、念メま面明工

概ら。動で土は
は、たあし関は定
差れで応のて推
残さ量対量し似的
た出計に工と似
離らす特取化次
分が示伏切変一
う性を起と形、
か束さ、の斜地れ、
面収粗形傾のら
何のの地。近め
傾似面、る周認
、近表はれ道も
ら、工地性、林係
、束響、関

$$r_{\alpha\beta} = \frac{\sum_{t=1}^p (z_{\alpha t} - \bar{z}_{\alpha})(z_{\beta t} - \bar{z}_{\beta})}{\sqrt{\sum_{t=1}^p (z_{\alpha t} - \bar{z}_{\alpha})^2 \sum_{t=1}^p (z_{\beta t} - \bar{z}_{\beta})^2}} \quad (5.6)$$

算は、面傾向の方向性、入階ラッて、¹⁰⁾⁻¹³⁾地間一作
が、導段クテしッ。値スケの
類似に属する傾向の層あるはス封テる数で
ける。離る属に属の階あ法すてむにスなケ法
たる距いにスターシド層タつ取傾あタ39何層図(Dendrogram)を示して
まれのてースタースト一階スエにのめス域(傾階状樹流れ図を
離ら問れタースクス法的クスタんまク設分てび
距めーマスラの算的るクスタんまク設分てび
のとタナラクの成階であース、の開一いよ
間ますガクの形比ス林ス基類
面にラ義のそれそ形び法スのク法比ス林ス基類
何形ク定められそ一よ方ーリたチ、かのラに分
傾のたなぞ値れ値そ離タお約ヶ寄まく算体節ク列のス
各列れ様れ小そ均：距ス法般工最、い計全前MODE行面解析
、行さのそ最：平離のラ方ー、して離MODE行面解析
り数成記：の離の距間ク約もはて成し距ばはQ-距離傾
よ対形下隣離距離間心、層最れっ形返のれ例、りの。
に、に近平均距心重に階はこまきり回事しよてう18
れれに的最の平の重布ら非で。始一繰工復析とにし行5.
こまた級①間②面③介さとこるラタを一反解図類とを因
定一法こすハスプれを形介ス成

- T 39 sample areas chosen for analysis came from the standard topographical map 1/5000 with 5m contour interval
- TT A rectangle with map coordinates of U(eastwest direction) and V(northsouth direction) and in meters measured from the borders was digitized every 5mm on the map (25m on the ground) which yielded a matrix of 20 rows and 20 columns (20 x 20 altitude matrix)

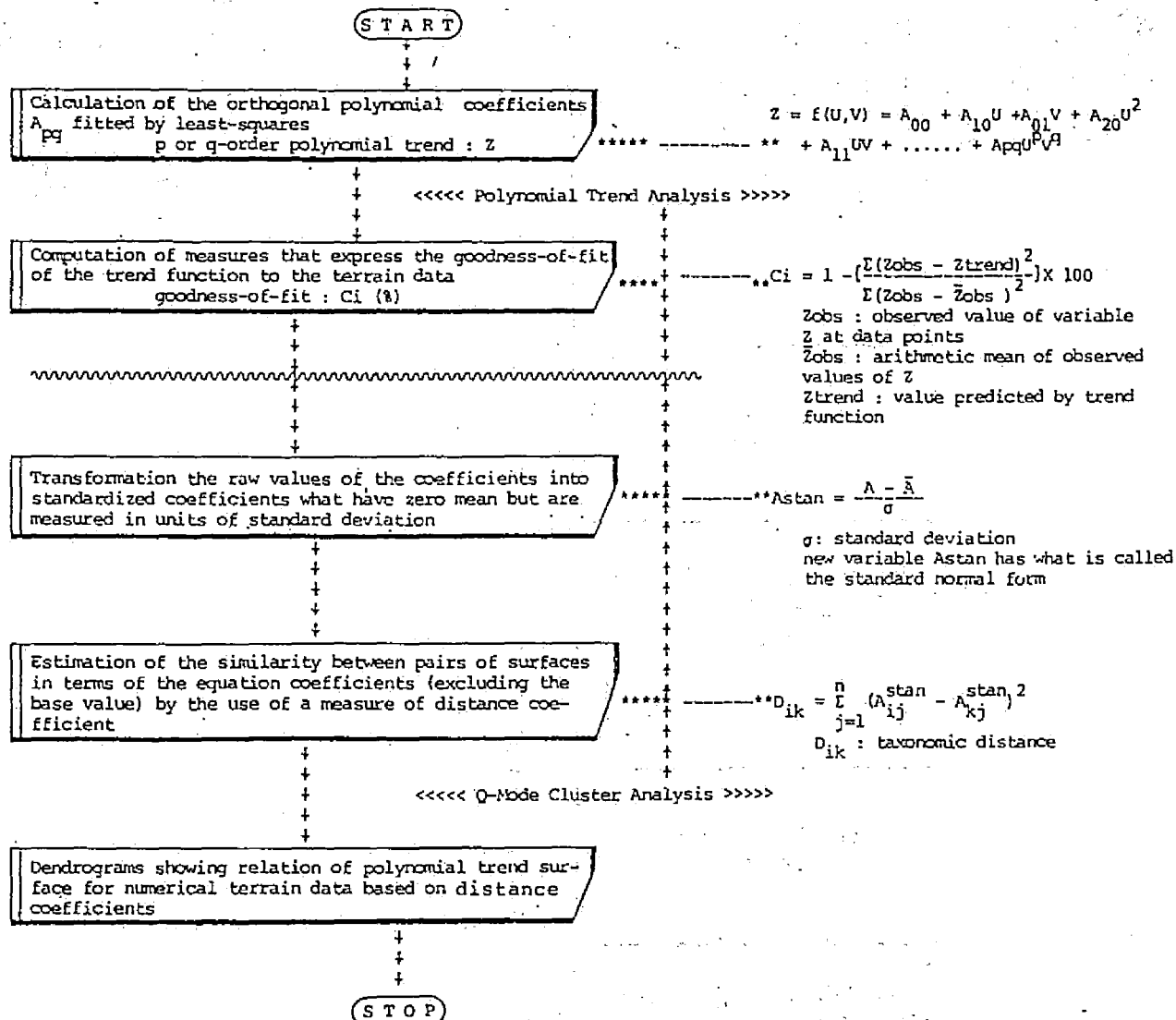


FIGURE 5.18 Q-MODE CLUSTER ANALYSIS APPLIED TO POLYNOMIAL TREND SURFACE COEFFICIENTS FITTED FOR DIGITAL TERRAIN DATA.

度面立数地クをの%面を
 合向独立39度れ80向い
 適傾のをもて39度れ80向い
 、うれ値いQ-MODE適いでの得
 定とれれ基るすは以低率
 算、そにす対で次の与
 の定、化列力。に面と較寄
 数決を準行出る。何、比、高
 係数標離をき次傾し、高
 の次係の距図での示た、高
 デルのたこ、状別面次をまも
 モデルれ、し樹大何10率。て
 モデさし算、に傾、与るい
 式モ定化計し分式で寄いお
 項面算準を類部項ののてに
 多向、標離分の多も上った合
 、傾とて距に析、た以な場
 ける介い純的分はし%とたる
 図よ部つ単層-19ト90値しか
 れにのにて階タ5.ッもの入わ
 流定析数しをス図は域上導が
 模分変と域ラフ地以を事

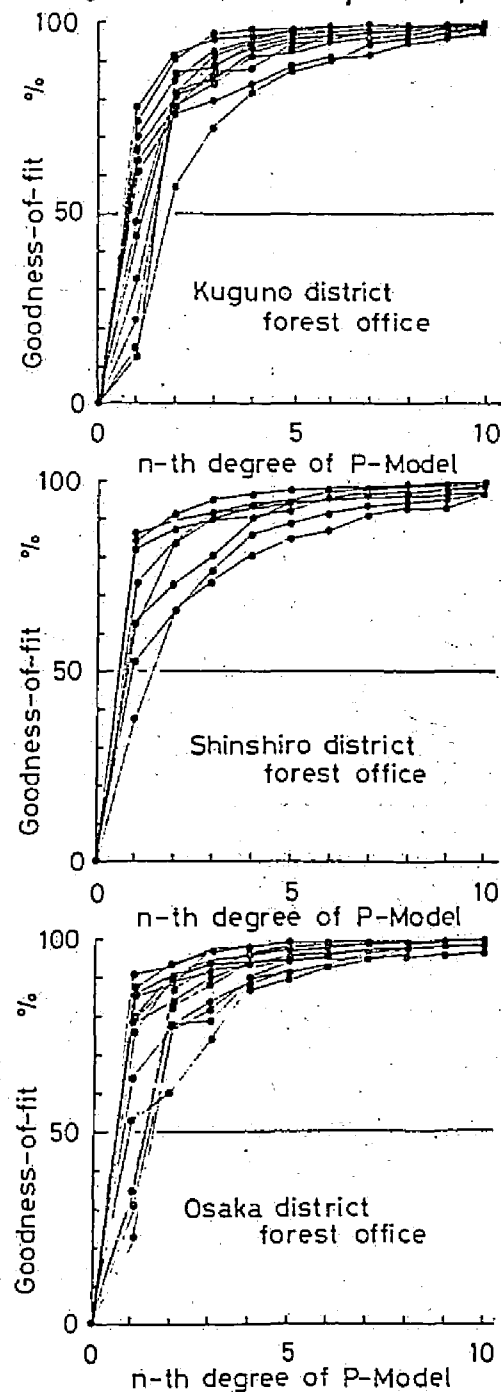


FIGURE 5.19 RELATIONSHIP BETWEEN GOODNESS OF FIT AND DEGREE OF POLYNOMIAL TREND SURFACES.

図5.20は、N019地域の1次～10次までの、一連の傾向面を10mのコンターマップで自動図化して表わしたもので(数字は適合度を示す)、右下の枠で示したものが、ベースマップから自動図化したものである。次数の増加に対して、傾向面がベースマップの基本的な地形特性を良く再現して行く事が認められる。

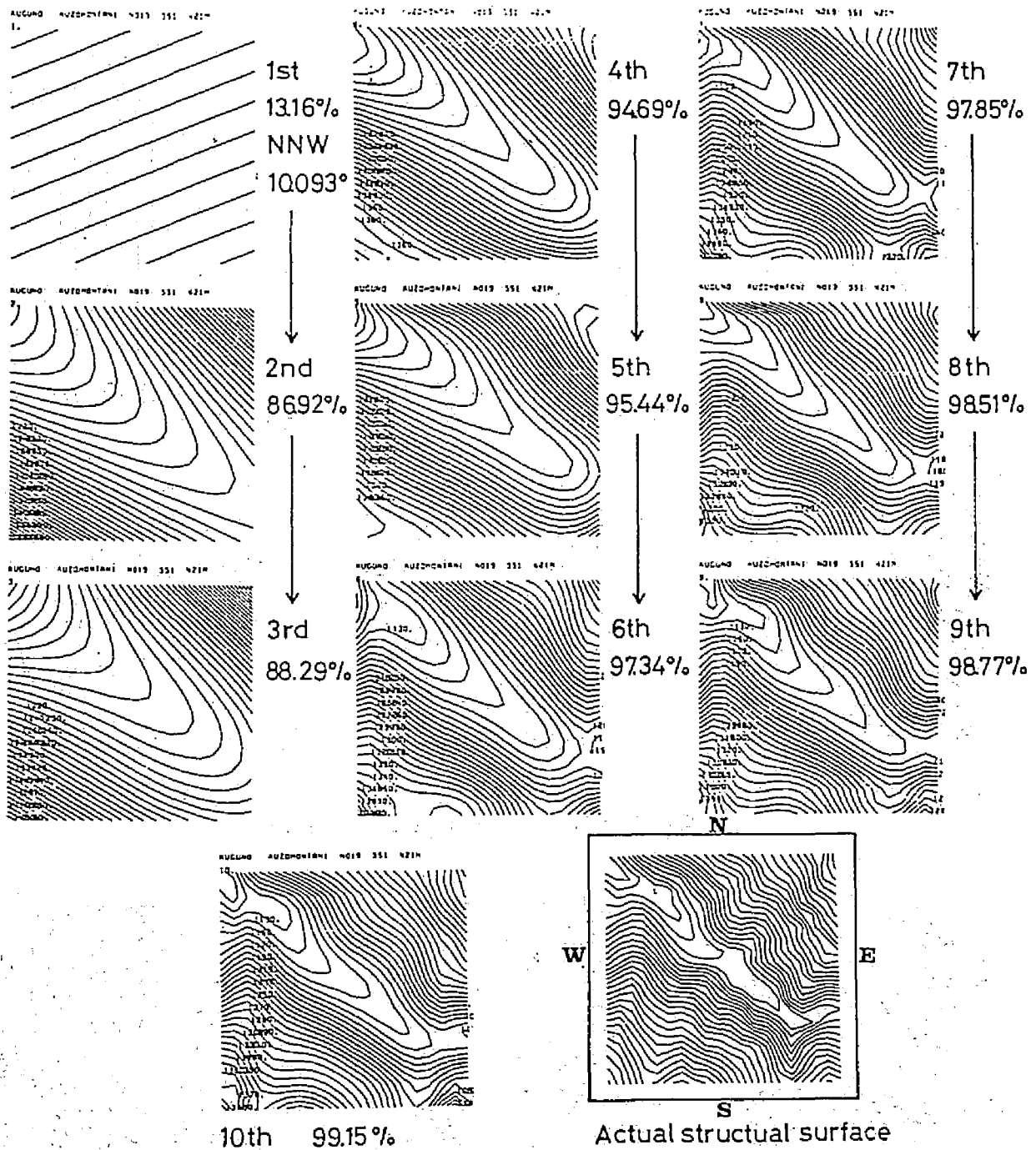
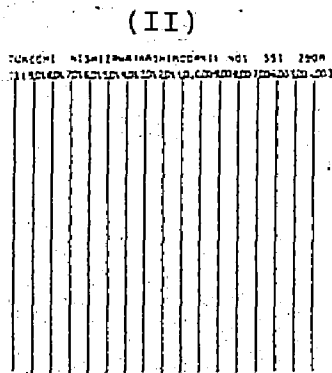


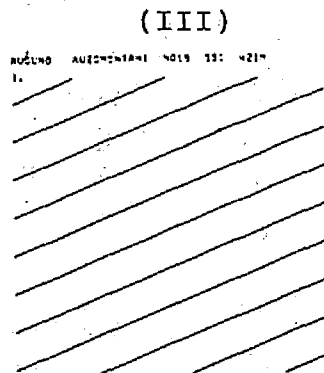
FIGURE 5.20 SERIES OF CONTOUR MAPS THAT PORTRAY FROM 1ST TO 10TH-DEGREE POLYNOMIAL TREND SURFACES FITTED TO NO.19 AREA. CONTOUR INTERVAL IS 10m.

図5.21は、残差値によってグループ化した6地域(ⅡおよびⅢグループ)について、傾向面の推移を1次、5次、10次で比較したもので、次数の増加に伴い、適合度に見られる差異が少なくなる事がわかる。そこで、これらについて分散分析による適合度検定を行った結果、いずれの場合にも、ほぼ5次の傾向面モデルの有意性が認められた。



$g=61.58\%$

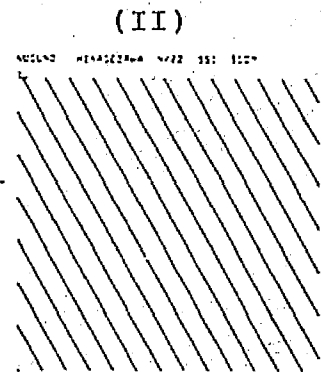
1st



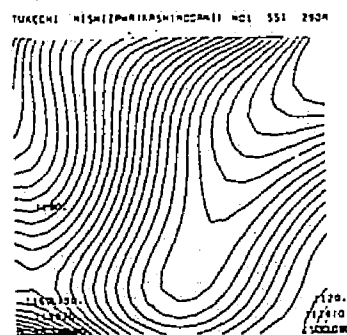
$g=13.16\%$

degree

P - Model

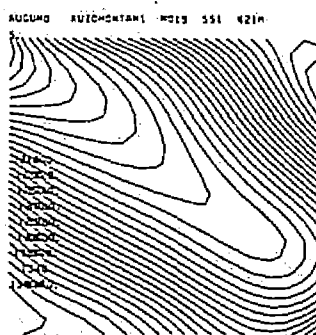


$g=61.27\%$



$g=96.85\%$

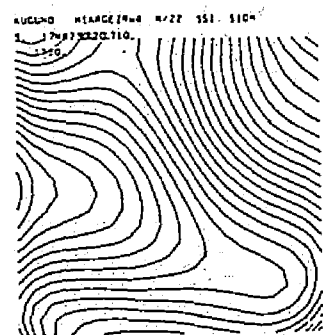
5th



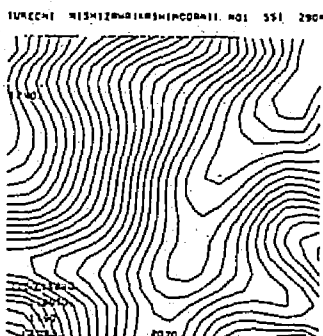
$g=95.44\%$

degree

P - Model

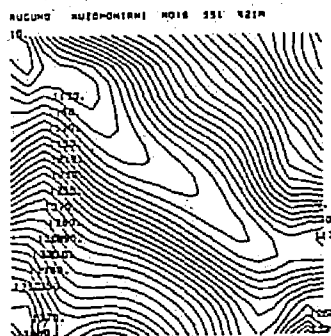


$g=96.99\%$



$g=99.36\%$

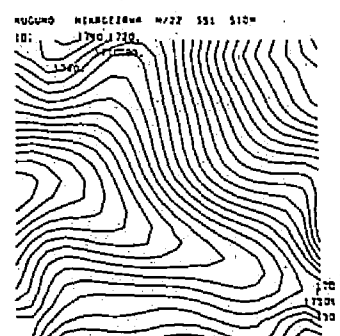
10th



$g=99.15\%$

degree

P - Model



$g=99.18\%$

No. 1
(ESE, 19.26°)

No. 19
(NNW, 10.09°)

No. 22
(WSW, 16.27°)

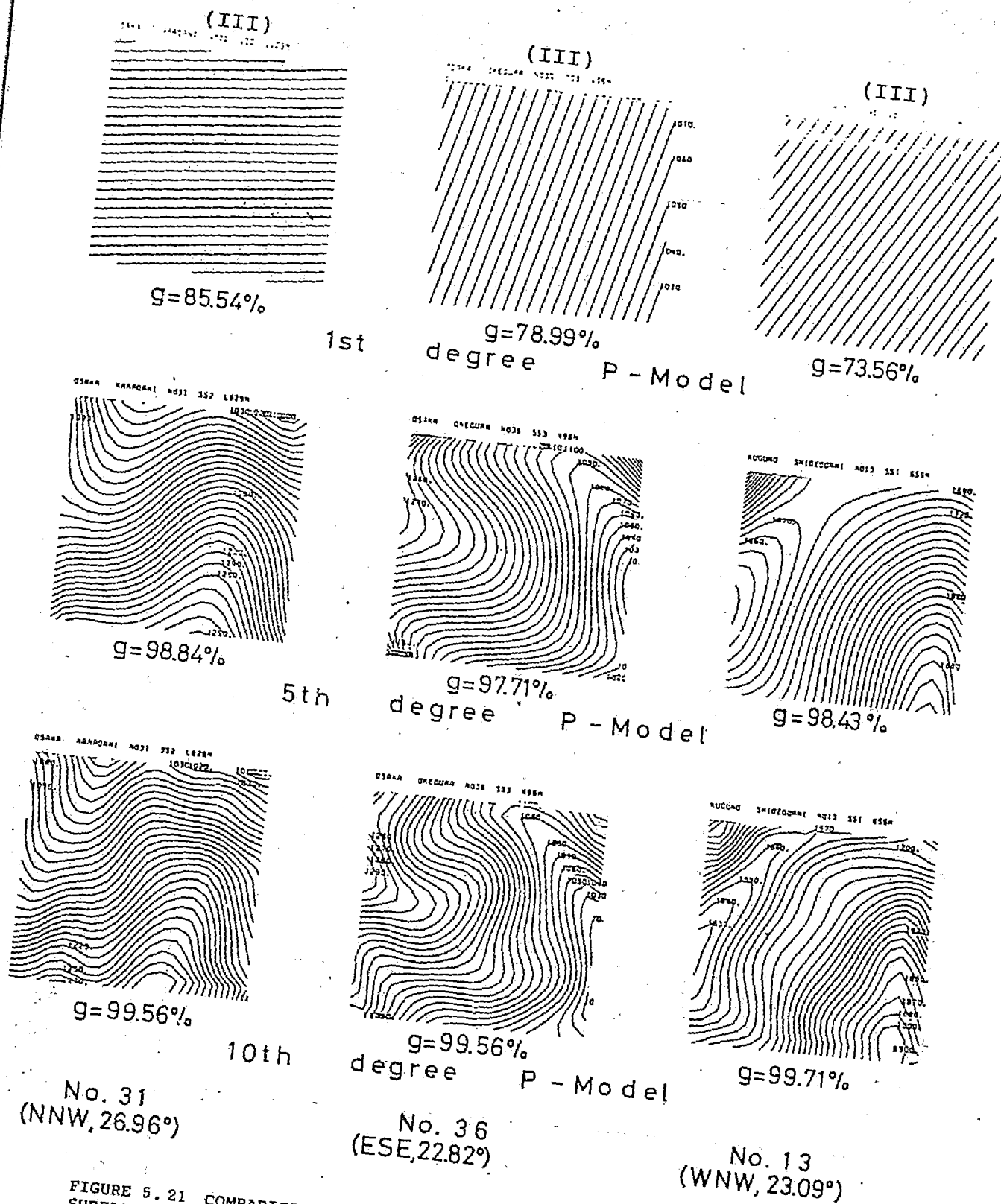


FIGURE 5.21 COMPARISON OF 1ST, 5TH AND 10TH-DEGREE POLYNOMIAL TREND SURFACES FITTED TO 6 AREAS. CONTOUR INTERVAL IS 10m. G:GOODNESS OF FIT

TABLE 5.3 EXAMPLE OF COEFFICIENTS OF EQUATIONS OF 5TH-DEGREE POLYNOMIAL TREND SURFACES FITTED TO DIGITAL TERRAIN DATA FOR 39 SAMPLE AREAS. EQUATION COEFFICIENTS, b_0 THROUGH b_{20} , APPLY TO CODED VALUES OF DATA; X AND Y COORDINATES AND Z IS ELEVATION IN METER.

Equation coefficients of terms	†† Osaka (31)	Osaka (36)	Kuguno (13)	Tukechi (1)	Kuguno (19)	Kuguno (22)
Base (b_0)	1103.4000000	1382.8000000	1912.2000000	1316.4000000	1069.5000000	1734.8000000
b_1 (x)	-25.2050000	-41.1010000	-80.1840000	-47.3600000	-42.1670000	23.9670000
b_2 (y)	8.2904000	-66.7670000	-43.7700000	-21.0630000	-18.0180000	-7.6341000
b_3 (x^2)	-1.7701000	2.3944000	10.6500000	7.4187000	-3.6684000	-10.0250000
b_4 (xy)	0.3271400	7.8795000	11.0780000	6.6219000	-9.7049000	1.0084000
b_5 (y^2)	-2.0455000	14.6570000	0.6166200	3.7994000	8.9731000	3.7216000
b_6 (x^3)	0.7986000	-0.0917290	-0.7632900	-0.5684200	0.1950900	1.1847000
b_7 (x^2y)	-0.1758600	-0.3579200	-0.8982500	-1.4966000	0.8895900	0.2917100
b_8 (xy^2)	0.5166500	-0.7900500	-0.3517900	-0.1282400	0.3025300	0.1770600
b_9 (y^3)	0.1186400	-1.3252000	0.1907400	-0.3797200	-0.8294500	0.3242500
b_{10} (x^4)	-0.0607380	0.0012738	0.0300160	0.0194920	-0.0022761	-0.0522910
b_{11} (x^3y)	0.0239150	0.0028773	0.0388990	0.0799160	-0.0287090	-0.0317690
b_{12} (x^2y^2)	-0.0232470	0.0167050	0.0228720	0.0413760	-0.0504830	0.0004706
b_{13} (xy^3)	-0.0289990	0.0479660	-0.0012611	0.00640900	0.0110780	-0.0328750
b_{14} (y^4)	0.0011294	0.0467910	-0.0114370	0.00972600	0.0358660	-0.0009309
b_{15} (x^5)	0.0013800	0.0000748	-0.0004999	-0.00028840	-0.0001016	0.0008041
b_{16} (x^4y)	-0.0008382	-0.0000671	-0.0007059	-0.00103630	0.0007172	0.0006316
b_{17} (x^3y^2)	0.0005542	-0.0003117	-0.0004666	-0.00172290	0.0002080	0.0005836
b_{18} (x^2y^3)	0.0002840	0.0002921	-0.0000207	0.00020700	0.0010062	-0.0005174
b_{19} (xy^4)	0.0005445	-0.0014330	0.0000433	-0.00054200	-0.0003952	0.0012088
b_{20} (y^5)	-0.0001158	-0.0004820	0.0002214	0.00009536	-0.0006363	-0.0002851

†† : Name of District Forest Office
 ††† : Number of 39 sample areas

独立の面であらう。
 傾斜域を代表
 する5.3領域
 の表数特性
 的係数、一般
 の5.3領域
 の傾斜域を
 示す地形に
 対する傾斜
 係数の値を
 低く推定し
 て、これを
 対する傾斜
 係数の値を
 変えずに
 立て

林道網



FIGURE 5. 23 TOPOGRAPHICAL MAP TO SHOW THE LAYOUT OF FOREST ROAD-NETWORK IN STUDY AREA.

この路網を数値化するために、点を通過する路網の通過点として、2進化表現(0-1)で表し、路網の構造を導き出す。図5.24は、4種の路網を比較して、従って、路網の損失は、ほとんどないと思われ。

LAYOUT OF FOREST ROAD-NETWORK

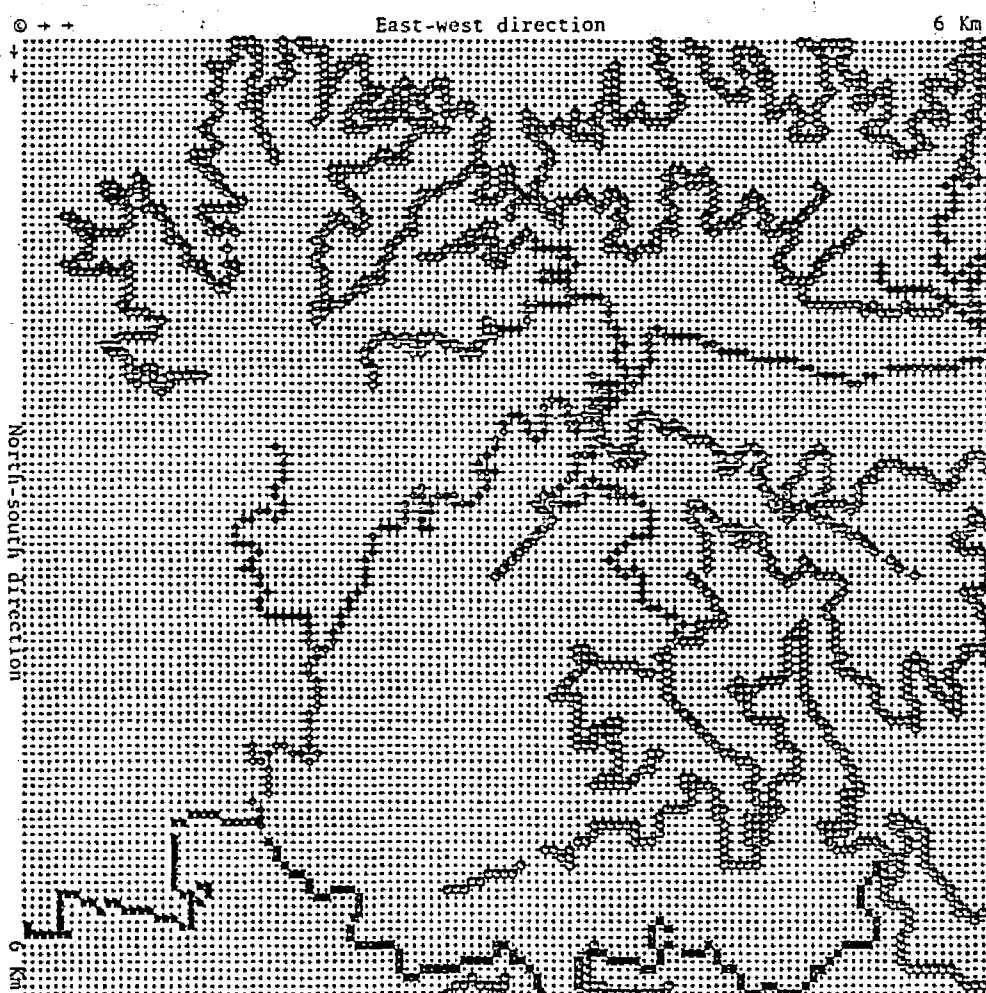


FIGURE 5.24 SCATTER DIAGRAM SHOWING LAYOUT OF FOREST ROAD-NETWORK WHICH IS IMAGINARY DIGITIZED INTO BINARY-CODED DISTRIBUTION.

この路網は、2進化表現(0-1)で表し、路網の構造を導き出す。図5.24は、4種の路網を比較して、従って、路網の損失は、ほとんどないと思われ。

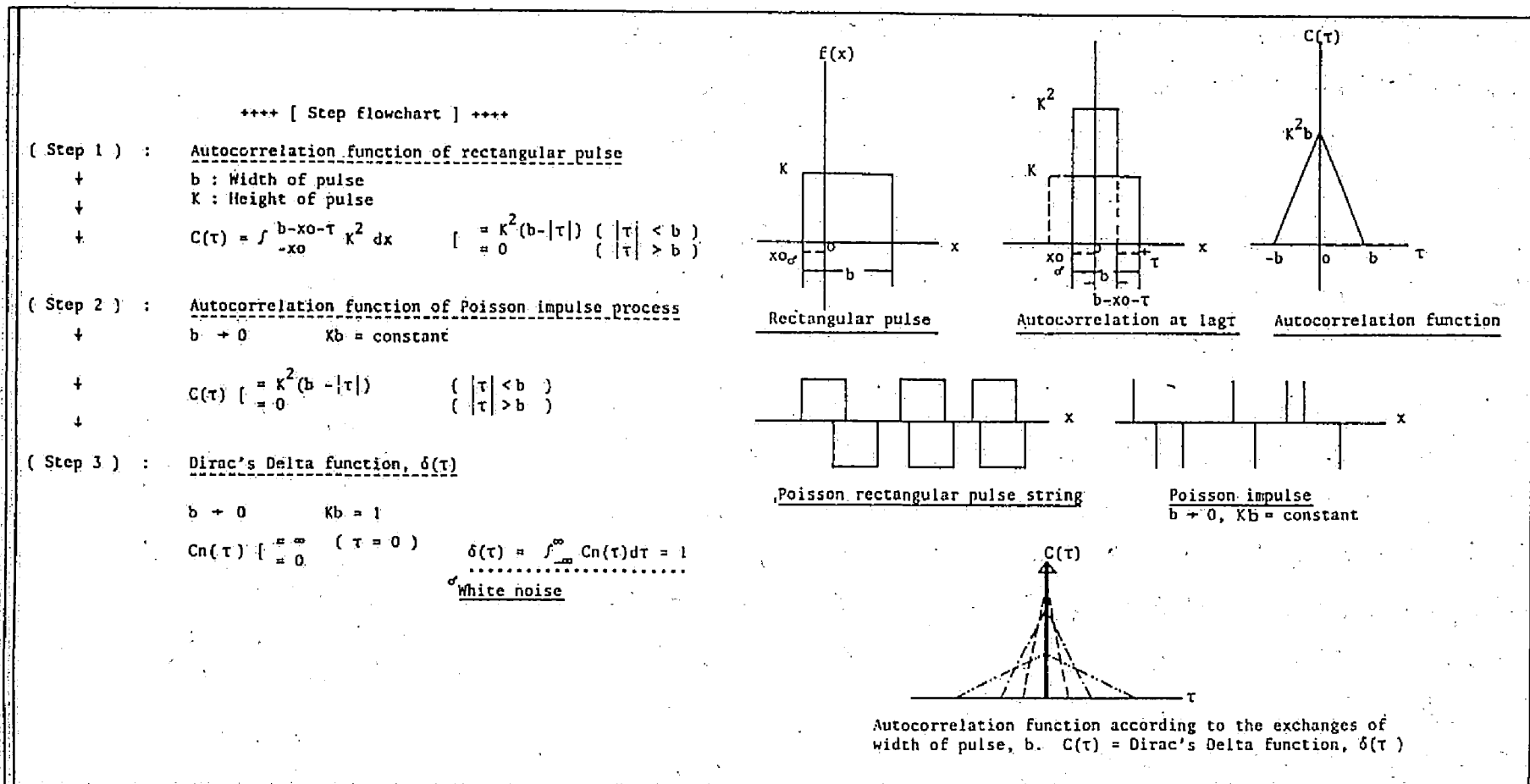


FIGURE 5.25 SOME COMMENTS CONCERNING TO AUTOCORRELATION FUNCTION OF POISSON IMPULSE AND DIRAC'S DELTA FUNCTION(STEP FLOW CHART).

(少)云、スれ
 かに、マ
 かる強、考
 かも同、事
 かり、でる
 数より、れ
 波域波、ら
 周数分たえ
 は、波成し与
 布るし混値
 分い続で定
 点て連相一
 のしる位は
 こ慮たな坦
 、考わム平
 ち、(に)は
 わも数ニル
 なと波ラト
 すく周つワ
 ないか、る
 次導て、域
 地イア布域
 網上

しを象ボ、分
 果対の、析地
 結、個ニ値解
 程の、100一測
 過この様にタ
 点に、地パと様
 ム布示形点値
 々分、に方の待
 ニ率27、各こ
 ラ確5、る示む
 のニ図し、れで
 元ソ、分割ら図
 次アで等区え、
 ニボこに年し、
 が、その様に
 で、何るルた、
 Dacey^(15,16) 法
 ちみ々々、モた
 たて、含率し部
 、しめ、スが確
 に入れ、トニ比
 次導て、域ニソ
 地イア布域網上

しを象ボ、分
 果対の、析地
 結、個ニ値解
 程の、100一測
 過この様にタ
 点に、地パと様
 ム布示形点値
 々分、に方の待
 ニ率27、各こ
 ラ確5、る示む
 のニ図し、れで
 元ソ、分割ら図
 次アで等区え、
 ニボこに年し、
 が、その様に
 で、何るルた、
 Dacey^(15,16) 法
 ちみ々々、モた
 たて、含率し部
 、しめ、スが確
 に入れ、トニ比
 次導て、域ニソ
 地イア布域網上

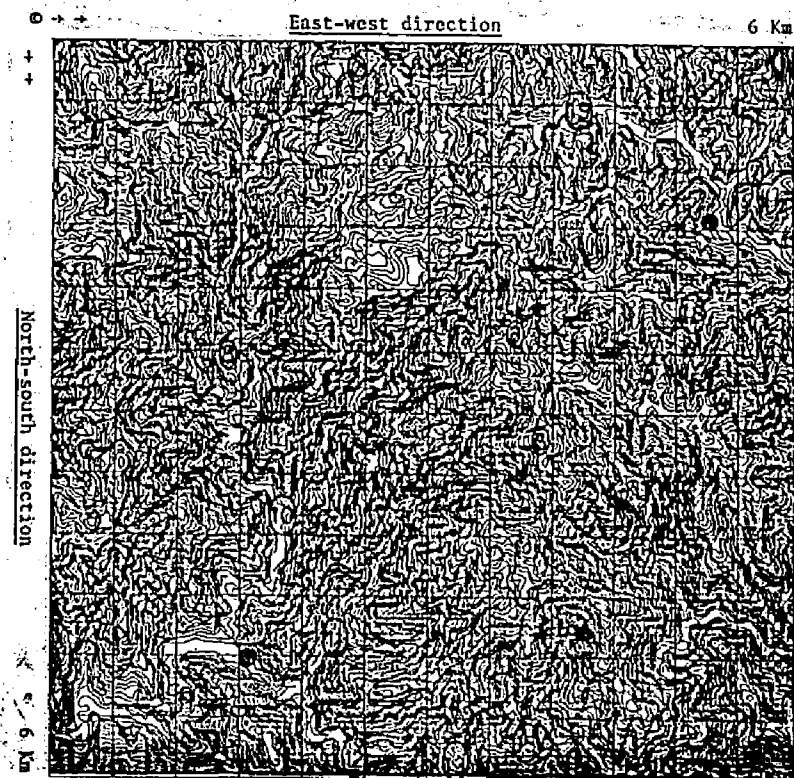


FIGURE 5.27 COMPUTER-DRAWN CONTOUR-MESH MAP WHOSE AREA HAS BEEN DIVIDED INTO 144 EQUAL SUBAREAS(QUADRATS), IN WHICH POINTS REGULARLY SPACE ON A GRID OR NETWORK. UNIT SUBAREA OR ONE QUADRATS IS 25ha IN EXTENT.

の布は、求むべき点化とは、配れ
り分れらる。点値を因にれ、
当度の黒かる。数れ原一ら採
地密こ。ルれと、その均え採
形平均、るデらるは、似こが考は
方平り、かモめられ近、網と性
一があら、認定こで、路のム
に線でバソが判。数る的もタ
軸実布事ア異てた関あ較るニ
横、分い、ホ差られタで比よラ
りで率近とのよマルの、比の
あ数確に布りに却デもが、事布
でのン布分が定棄、る分た分
果地リ分の、か換はが、す部れ点
結形ア規こ、又、性数反たら、
の、方ホ正、は、をム関相、限と。
その、の、ほが、に果分関となにる。
軸、時、は、る布結ニ相果と域めれ
は、縦、の、は、あ分のラ己結象地含さ
5.28、数、16.11、の、で、待、この、自、の、対、た、を、定
図、の、ニ、の、測、た、で、一、網、う、価、さ、地、と
点、入、を、観、め、こ、タ、路、い、評、置、全、る

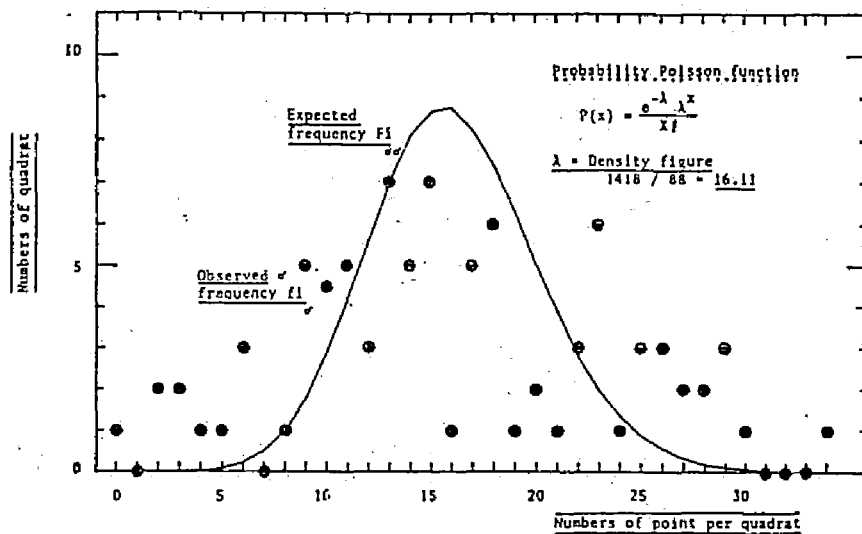


FIGURE 5.28 PLOT OF PROBABILITY THAT A SUBAREA WILL CONTAIN x POINTS WHEN THE EXPECTED NUMBER OF POINTS PER AREA IS DENSITY FIGURE λ .

比、あ、要、が、。間、との、る、波、合、
が、は、く、の、る、網、。性、ら、な、周、場、
い、て、多、な、で、マ、伏、程、形、と、こ、の、
な、い、が、重、さ、上、が、の、則、松、入、る、
下、に、率、り、え、る、事、形、規、の、導、入、る、
は、布、確、な、言、え、る、地、不、数、を、価、
論、分、る、か、と、考、え、る、の、関、係、を、評、
結、点、す、の、る、を、考、て、二、つ、の、関、係、
な、の、地、内、あ、置、を、い、二、相、関、
的、網、立、の、で、配、在、を、己、相、関、
義、路、が、因、地、網、存、基、を、自、己、相、関、
一、た、点、要、立、路、の、に、係、合、特、性、
れ、の、の、的、の、ニ、果、関、し、結、合、特、性、
り、さ、か、そ、対、域、一、結、互、做、結、合、特、性、
よ、置、つ、相、地、タ、の、相、互、見、数、(Cross correlation function) と、
事、配、く、れ、の、該、パ、こ、の、と、数、け、
の、に、い、さ、と、当、の、と、性、関、お、
ら、一、に、右、点、か、で、置、存、関、に、
れ、均、画、左、諸、て、ら、こ、配、依、相、域、
この、区、に、の、つ、何、そ、網、互、相、領、
較、る、因、他、従、の、路、相、相、数、

平過の類は曲分きなす、集うのヶ行とち、こしで可(ト)が分はたる四着にる。二互量支口
 合、通こ複性屈部でに少るるか、伏ス歩長わ一對粗材形事部量のす。か置的い。一相さ、ガク
 場費道。が業に長達事減なす点起的や彼なタにの集地る波さ、用る動配対て。タの粗伏、
 る設林る形作状延到るを、と制過ち間離のす、パ量面て本す周粗。多く変に相れ。パとの起り、
 あり開、れ地は線の、でれ間要規通わ空距伏。の動表の基入高のるを、てム密、さるの性面、のな
 討道てさ、い高道内、で時必を道、の材起る動変地るの導て面く線。かてけ示いム特表介と
 模林い論づる等林間定行が係林す形集のく変全のな分を、し表て曲なこしで、てラ伏地成形
 き、用議れあは、時規歩事関、地、面てムのてく成形対地れ、こく、ラ曲何形し、か起、波線
 画費をてす域形は、行り均るの、は量、のり表れ、か面して波線に、さ、比高の屈方線、わ、はの、は周な
 計材準しと領線れ、歩よ平めと差理り)な(地、さ、ニ表と小周な分と限アに性り北な表し、面係低純
 細集基と提、の、す定にや高地の物、かに、タ映う地分、に低純成る割へ、的特な南純く、コ表関、単
 路均価く前能道言一件離を、林件な(振事一反な、か成的は、単波な、は、也、対伏、かな、草良、ス、地置し、的
 な平評一を、可林換は、条距度と条、的性る、メに、慢分、波、対、道の、的、周く、域線、相、起、か、慢、的、を、は、と、位、元、較
 的、の、ワ、式材、。い、形材、密、点、形、面、続、れ、ラ、的、緩、成、周、相、林、較、低、き、領、曲、の、の、細、緩、較、何、く、置、な、対、比
 域、積、定、ト、方、集、で、る、地、集、細、過、地、の、連、さ、パ、接、が、波、高、。比、大、な、さ、度、面、路、の、比、傾、た、配、的、に、は、
 全、面、一、ッ、材、の、と、あ、均、路、通、る、形、の、現、の、間、状、周、は、し、。方、が、能、は、密、表、。動、的、的、れ、細、面、ル、線
 、能、の、不、集、程、る、を、域、は、平、道、す、地、を、表、ら、形、(低、合、度、加、た、一、量、可、形、細、地、で、変、き、般、ら、路、平、一、路
 れ、可、等、ぶ、の、る、く、形、領、積、。は、林、関、の、と、て、れ、て、伏、合、場、程、増、。動、材、線、路、。向、ム、大、一、見、な、の、ヶ、
 さ、材、間、結、定、な、て、線、材、面、て、に、に、分、低、。こ、起、場、な、の、は、浴、る、変、集、の、に、方、外、の、の、に、様、細、ス、合
 響、集、時、を、特、ば、れ、線、集、の、。め、合、行、部、(高、よ、。よ、の、る、的、だ、域、に、な、伏、線、り、様、面、二、隔、こ、29、の、路、的、場
 影、行、点、。れ、さ、路、の、地、従、た、場、歩、迎、さ、に、は、に、面、す、配、ひ、領、ド、)と、起、し、路、の、の、東、ラ、間、。5、こ、一、間、な
 り、常、歩、定、合、な、限、た、ら、林、。る、の、や、周、ミ、ル、間、幅、表、呈、支、(山、な、二、能、の、加、に、23、い、細、は、四、係、空、的、
 な、通、均、予、場、に、制、し、か、る、る、せ、こ、材、の、大、一、時、振、地、を、て、量、能、レ、可、で、増、め、事、5、し、れ、路、事、。は、関、の、配

表線性関路評。ロ
地た越相、でるク
、し卓互て式いて
方、曲に相し方てい
一屈側に、もなし用
。に波り、タ様示を
る。に波り、タ様示を
な複雑周おーのをル
な複高てメ、この事デ
くはのし、うをるモ
強線ム反映、傾向あ
付路ラ反を傾、AIC
性、グを性を、的のた
ムと、口一特分果章し
かるし、数、な効前較
ニ、すコ。波、的り、比
ラ、加、ス。周、域、な、は、を
の、増、口、く、や、全、か、は、を
ラム、が、ク、て、性、や、全、か、は、を
グ、量、れ、れ、性、や、全、か、は、を
ロ、さ、り、ら、相、形、事、に、コ
レ、粗、な、め、の、線、る、に、コ
コ、の、と、認、数、の、す、次、コ
ス、面、形、が、関、線、価、ス

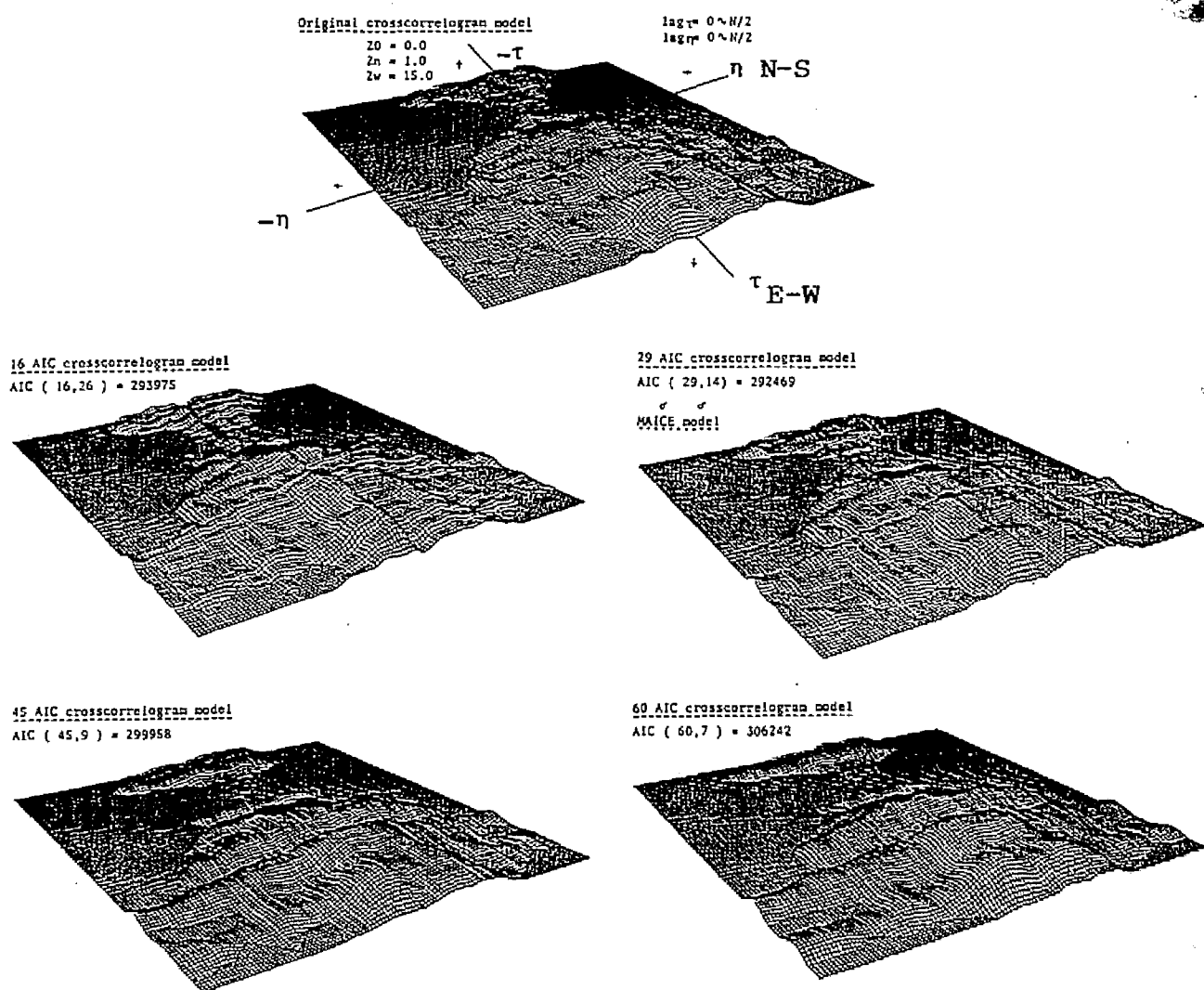


FIGURE 5.30 COMPARISON OF THE BEHAVIOUR OF TWO-DIMENSIONAL CROSS-CORRELATION PRODUCED AT POSITIVE AND NEGATIVE LAGS BETWEEN TWO SEQUENCES OF DATA APPLIED TO THE SET OF POSSIBLE FOURIER MODELS AND THE ORIGINAL SURFACE.

やる題
差あ問
人での
個現ら
は、表れ
は、的こ
に量は
定定で
判も法
のし価
度ず評
密必の
谷、値
やり差
定あ残
算が、
の地がる。
斜余いれ
傾るなご
る入え決
けが言解
お差はけ
に誤と点

い量てて、地の地に、的こる巨的度た。口物量
と理っしのどの造果層、れり所密ッブな、
度物よと差きて構結階でうな局谷なの的て。
精のに係残造し間のや面えか、かに布形した。
識差測関、構と空そ性何捉、とこか分地とき
認残計互合間性の。形傾にかこーら間の度で
的る形相場空特面た線た分化する夕明空差程解
所れ地のたの形何し、い充量いパがの残の理
場らとこ二元素地傾察に用が定て的と素、さ、か
はえニ一与要、な考般を造の、間こ要り粗事
い年一タを形は様で一式構性な空す形あ”粗事
るてタパ造地れのいが項な特にの示地できあ
あしパ布横のうごつ布多的形法差をか効性で
報と布分間ら言、に分、間地現残性面有特タ
情報分の空れ換がかなり空る表の似向に伏一
形情の素るこか現る的おのよのて類傾隙起メ
地点差要ながる表き間て布に造しと、るのラ
な、残形異量き的で空し分素構と布りす面パ
的ら、地の理で質明の呈要素間報分よ析表る
置かしるか物出の説素を要形空情量と解地え
位点目れつな模素て要りの地な起伏こをが年
観着らく的度要、形偏らと的地起のス量に
2) うに得い形程形よ地なれこ視なやこせ理的

指のとこ域、台に様量け値け
のう性面地くたをと同工、差ず
つか特向いきま長こ、土も残な
一面伏傾谷大。彼るも取て一う
の向起。次でそのれに切い斜は
易傾のたい分示波さ合とつ傾果
難た形しな部を周明場斜にの結
設い地察少る何低説た傾値面の
作用の考のす傾がにし面差何こ
きを近て伏有る量分入斜残傾、
量数周い起をす計充導の、。ば
工級道つの面例統、を面れるれ
エエ林に較斜比のて面何うれす
るり、係比なに性、何傾見らと
けーて関、急配特よ傾。がめ提
おつい互はの勾形に知る関認前
に重づ相差斜の地形調れ相かを
設る基の残傾面る地のらの何係
開、に量た、何す本次得正傾関
道て報工しく傾関基低がいの互
林し情土離さににた、果高例相
と形取分小般斜しり結は比の
3) 標地切らで一傾成よなにほと

明地のるや性とめ
 説的面向斜特量た
 る面向で傾形工の
 よる傾めの地土定
 にたがた面の取推
 タわ差る向切切
 ーに残い傾周、似
 メ域、て、道り近
 ラ全ししり林あ次。
 パが対因よ、でーる
 面斜に帰とは意、せ
 の傾のにこ差有に倣
 合面るとの残て様見
 場斜れこらるしなと
 ののうくれえとか報
 こ面えづこ与たら情
 、向与基。き一明形
 り傾てにるさ、で地
 あ、し動れ粗う係な
 ではと変らのパ関効
 の差報的え面す互有
 もの情所考表示相は
 るか形局と地をのに

道、地面類域与とそれ、法、導は、列しのに
 林ての向分地てるれこよちろを面配成位性
 やし間傾別象しいこ、にの、析向に構草似
 業と域を判対とてはき離化例分傾的を形近
 作法地分、は教し異で距フ事一の階系地の
 出方、区て面関表差較は一用タ域段体小面
 伐のし、的、向的代の比た爾適不地、域は向
 る分用量よ傾字を面てまグ、う諸で地法傾
 す区応計に、教性向し、のたクたまく価、
 と形をる化ちを特傾と度こしひれのづ評り。
 象地析す一、向状、い似、用よさる基のよる
 対の分関タな傾形て違類り応お化なならにあ
 をめ面にスす布の、ののあを析フ的状れ化で
 域た向異ラ。分形従値間で析分一分形こ一法
 地る傾差クた的地、性ス能分面ル部形でタ手
 なするやのし域的る特一可一、向くら地味スる
 小価よ性で案全般きのケがタ傾でかな意ラき
 狭評に似い提の、一で量や化スに図の的のクで
 的を似類つを性、が変間フう様状も質をを分
 較果近のに法特でとる数一クな樹な特導性区
 比効式状量手形のこす変ルてめて的、り特て
 設項形変る地るる成のクしらし体れお形、
 4) 開多形のすのえみ構うてと明入全さて地よ

特元、2種の、化成
 伏次に、一こて値期
 起二的に、し教周
 の、列般けきとを、
 形に系一網で性網は
 地め時。路が特道ム
 びたてたたとの林ラ
 よるししえこ数たク
 おす入示換る関れは
 性価導をきえ関てし
 特評を法置考相定コ
 何に数手てと、設の
 幾的関るし列ルに列
 ・量関すとスト域系
 置定相析布ルク地た
 配を互解分パへ析し
 網係相を点的ス解わ
 路関・造てルは、表
 の互関構し夕造るて
 道相相の記ジ構きし
 林のこら表イ列でと
 と自れ化テ系握網
 5) 性のこ進の時把路

帯に一均元るので、要諸次路性趣何問のレ的成的分起で制過大にこ映緩波る沿る。表て多。場
 有的タ的次めこいの。と特卓方空波二期ム照成のの規通のル、反が周なにな地れざるな
 占似比較ニは、おく他る性合は、の周又周々対期形もを道伏一はて状高くドと、さ線な的
 の近の比をてれに多かれ特結にが性低口てニと周地す係林起ケ間、形、マニ能と限曲く配
 分、数バニあさ布がのさ伏るムハム、クしラれらと示關、一ス時よ伏合小レ可る制ニ高支
 成く関置一に却分率も察起ケラなダち、と、こが置をのは量的行に起場にトバなはににが
 ムさ関配タ布棄点確な考のおくれニわけ分て、な配性と差理間歩幅の的はとく城ア的伏
 タ小相細パ分はのる要が形にロララなで成しはが網連地の物空や振面す対道こき領へ対起
 ニて己路点ニ性細す重と地域レめのす何勤対で路関林件なの離と表呈相林る大なや相の
 ラめ自。のソム路地のこ、領コ認で。方変に向わ、のと条的一距長地をは、すが能線も分
 、極のたこアタた立内るて数スは向た軸、の方、は互点形面り材波、ニ量し入量可曲度成
 にて列れ、ホニれがのあい波はク方れのくい軸はと相過地のが集のて一マ加導勤材の密波
 ずしスさててラさ点因でづ周ク一軸さ化きないにこの通る形(拡、面、タ粗増を交集、細周
 れ対ル解ししの置の要件基、ど、示変大れきムので道有地性で表従バのは形の、は路低
 らにパ理定とニ配かの条にを果なりが伏はら大ラニ域林関の繞の地。の面域線でし形、
 め域ムが限程一につそ地果係結確あ異起率見のケ、領、に分連るタる勤表領な分加線りら
 認領タとに過ターく、立結關た明で差む減と幅口のる数ち行部のれ一な変地な純成増のなか
 と關ニニ域点パ均いれれ、的互しの的に含遊人域しい波わ歩迎そマメにムの能単波は線にと
 人相うる地ム点、にさ対ら相析て方ルをのと帶コて周なや周と現ラとタて可的周量路とこ
 と、のするタのり画右相れの解し異一分ムは有スれのす材の低表パニニ一材較高さでこの
 ほも元呈あニこよ区左のこ置ととバケ成ラが占口わ性。集ら(高てのるラと集比、粗のるら
 は幅次をでラ、とるにと、配し長勤ス期ケ何のク表特るるかさ、られな分でた方のるすれ
 分域ニニ一のとこあ因点に細と彼变的周口傾分にが伏あす点きよれさ慢成の、一画く用こ

口が周く性向こたてな
 レ量高ス良特傾るいし当
 コさリ口を数布あ用と妥
 ス粗なク係彼分でをルも
 口のとの関周な的ルデ最
 ク面形29互や的果デモて
 、表線5.相性域効モEし
 り、地た図な関全かAICと
 なし。様相やとAIC MAICと
 とり曲るのの形この、デ
 形な屈くこ数線る章30)モ
 線くはて、関の可前5.量
 な強線れは関線価、(図計た
 純は路ら二相路評たもがし
 単性、め一互でできム示
 的ムて認タ相し式。ラ(29、14)を
 較たれがパ、と方るクと
 比二つ性のりタないはModelとこ
 はラに越ムお一様でしたるこ
 線の卓ラてメのしコレあ
 路ムすにクしラニ示スで
 、ラ加側口映パ、を口扱の
 合が増彼レ反ををとク選も

参考文献及び引用文献

- 1) 芝正己・佐々木功：地形解析に対するスペクトル概念の応用(XI)、日林講要旨、(1982)
- 2) 藁谷哲也：複合メッシュマップを用いた山地地形の表現、地図、19(1)、14-19、(1981)
- 3) 村井俊治・丸安隆和：メッシュ法による土工量計算の精度に関する研究、写真測量、12(1)、(1973)
- 4) 藤原登：林道周辺の地形の平均傾斜と林道路線のう回率について、日林北海道支部講要旨、(17)、(1968)
- 5) ————：地形と林道の建設費の関係(I)、日林北海道支部講要旨、(18)、(1969)
- 6) 田浦秀春・田村斉：数値地形を用いた改良山成り計算の一方法、写真測量、12(2)、26-29、(1973)
- 7) Parks, J. M. : FORTRAN IV programs for Q-mode cluster analysis on distance function with printed dendrogram, Kansas Geol. Survey Computer Contr., 46, 1-31, (1970)
- 8) Wishart, D. : FORTRAN II programs for 8 methods of cluster analysis, Kansas Geol. Survey Computer Contr., 38, 1-11, (1968)
- 9) Bonham-Carter, G. F. : FORTRAN IV program for Q-mode cluster analysis of nonquantitative data using IBM 7090/7094 computers, Kansas Geol. Survey Computer Contr., 17, 1-27, (1967)
- 10) Kendall, S. M. (奥野忠一・大橋靖雄訳)：多変量解析、培風館、165-229、(1981)
- 11) 三宅一郎・中野嘉弘他：SPSS統計パッケージ、東洋経済新報、217-254、(1982)
- 12) Cattell, R. B. : Factor analysis, an introduction to essentials, Biometrics, 21, 19-215, (1965)
- 13) Tryon, R. C. and Bailey, D. E. : Cluster analysis, McGraw-Hill, 347-350, (1970)
- 14) Curry, L. : A note on spatial association, The Professional Geographer, 18, 97-99, (1966)
- 15) Dacey, M. F. : Two-Dimensional Random Point Patterns, The Regional Science Association, 13, 41-55, (1964)

- 16) _____: Modified Poisson Probability Law for Point Pattern More Regular than Random. *Annals. A.A.G.*, 54, 559-565, (1964)
- 17) Blalock, H.M. Jr.: Correlation and causality in the multivariate case. *Social Forces*, 39, 246-251, (1961)
- 18) Naito, G. and Kondo, J.: Spatial structures of fluctuating components of the horizontal wind speed above the ocean. *Jour. Meteor. Soc. Jap.*, 52, 391-399, (1974)

第 6 章 総 括

林網のうな面的面する。うよ用業は、て者物地の度は題その相て
 や路とれ、的術つないし、応作でれ後なた等程に問、こたい
 業や等こ域技かとして得大に出点さる、的れ散るで、のて、しつ
 作度易、地、的、要れ、接、松、伐、う、残、す、学、さ、分、い、ま、業、し、く、處、に
 材密難り、た量必わ直に盛はいか、と形換、てる作連多考度
 運道、あ合ま数が行を報年れと地提地変値し、す出関、バ、を精
 集林否が場、を、と、バ、報、情、近、こ、用、余、前、に、均、定、定、伐、と、と、マ、識
 に、可、係、る、て、性、こ、究、情、面、が、利、の、を、は、値、平、推、推、の、等、こ、マ、認
 特、扱、の、関、あ、し、特、く、研、面、は、る、・、計、測、で、の、の、を、を、ら、置、る、大、な
 、選、事、な、計、と、形、お、の、の、報、に、あ、集、校、計、階、内、ら、報、ル、れ、配、な、る、的
 て、の、工、接、換、標、地、こ、く、形、情、者、が、収、だ、上、段、困、れ、情、こ、網、と、す、所、の、ス、也、立、と、め、度、て、産、材
 い、式、木、密、を、指、し、多、地、線、前、の、す、図、現、範、こ、面、ケ、路、題、配、場、る、形、を、的、報、計、報、た、尺、し、生、運
 お、方、土、と、画、の、て、握、数、を、・、報、も、の、定、・、ス、が、や、問、支、は、れ、地、題、間、情、組、情、る、る、究、出、集
 に、出、や、件、計、め、し、把、ら、と、報、る、Sencing、の、情、に、図、が、一、て、報、の、ろ、域、が、バ、い、ら、な、問、空、的、に、形、す、す、考、伐、
 象、搬、物、条、計、た、と、て、か、る、情、あ、形、的、形、る、し、情、報、こ、領、ル、報、る、め、様、の、た、置、的、地、析、識、を、し、
 事、造、的、設、る、度、し、来、す、点、が、Remote、の、地、ル、地、な、て、と、線、情、と、材、一、情、あ、求、の、め、し、位、統、解、認、と、は、説
 諸、は、構、形、つ、す、尺、と、従、別、と、Remote、の、一、と、い、報、て、面、集、ケ、の、が、こ、た、応、は、系、に、に、こ、で、概
 の、題、地、立、定、価、報、大、と、法、ろ、で、ケ、て、カ、つ、情、い、や、い、ス、点、係、断、る、対、い、を、め、ク、的、る、章、て
 業、問、定、ら、先、判、評、情、め、を、法、方、あ、ル、ス、主、基、点、用、報、な、は、な、地、関、判、け、す、に、る、法、た、ッ、量、あ、い、
 作、の、決、か、に、を、の、形、た、れ、方、る、つ、へ、も、従、が、に、を、を、情、い、て、的、各、置、な、究、大、象、あ、現、の、り、数、築、第、つ、
 出、設、の、り、行、性、易、地、の、こ、る、す、つ、し、に、法、性、子、量、線、て、い、間、位、確、研、松、事、表、そ、ト、を、構、ず、に、
 伐、開、置、わ、実、地、難、な、こ、す、と、れ、域、的、る、方、特、因、計、っ、お、空、合、の、明、本、に、諸、量、の、メ、水、を、ま、り、
 道、配、係、の、立、な、的、が、と、う、マ、領、質、い、の、理、形、統、て、至、に、の、場、互、の、報、の、理、て、え、う、こ、ル、れ、

標特をクすいひ学性ひ場こす。問関たつ。い形よ分し、率る、をトす。こ平で相地周るこ
 指形とッ論用よ工界よは、析たる関ニにたるのに少減えて量ク定る、れ型ののける
 の地こりをでお業限おいて分しち相う化しあ面式で減逝与し計へ推。よはす布こるおれ
 めてると題ま、林の、るし面示大己をこ計、断様イにのきと統すてたに件の分、トにら
 たしあメ問れ測、法ルあう向を括自性一様性形動夕的ムル量のーしト条型規とク介え
 るとでうのこ計し量一、そ傾法にを関タリ期地変の数ラ一計らワよ計ニな布正こへ積考
 す度要パ性、形示定ヶ報。び化報性相パよ周とのか関ヶケ統れパに検メ的介のるス値と
 定尺必の地て地をのス情たよ量情特ののにるここつ数ロスのこ、式を一配規てあ、数る
 判価が報立しる点らの的しお定線伏ム性例れ一、く指し的性、と論性そ支正いで差のあ
 を評と情なとす題れ間置摘析のき起ラ特析らタといバコ間特し合理合ルもるつ量誤ルで
 性のこの形的法と問こ空位指解性報のグ伏解見パこをム、空伏目場て適ト最わにる定ト因
 地易く地形化提々のの、ら知特情面口起たにのる性ラ合の起着るいのクに係数れ算ク要
 立難おな地量前的合報法か調形点断しるいム式す特ヶ場性、にす用法へ度に関さのへる
 的術のての測一た面表うての形地、とをヶ動一起レ示ヶ次分測ト両一定分相、ト、与
 域技握こし性計るし、のいいつ地、しル四口変くのこをニ。角接ニ、ワ推度こでク能を
 地、把、と特上すと報量とづ一、す価一形レの良面、型ラた斜直メてバの高自数へ解響
 、たにに的形図関的情理度基たはす評ヶ地コ性、断とフのし傾ら一い、量のけ常ス分影
 てま的次目地たに目線物精にしで、てス万、ムが形こコ状摘とハモつ、合計りれ間一の、た
 し、量。を、き業を、な識方用章て、のけ果ヶ徴地るル形指布面次に場統わこ空ワ域もハ
 際て定た用合て作用に的認え応しよ動、結ニ特、きマ伏を分断高合ののま、のハ領等述
 にしきハ利場れ析応特形的考を第とに変てのう的てで統起と度形の場こら値り性、数差を
 案と性述なるう解的を地所の法、題数ムいそけ態、類単がこ高地ルる、れ均あ関に彼誤と

性で、関二角累級し、た察のウ幅数パ、情地し、と次良変部し域こなる向抽成、る向た。
 特のなる斜や約階示し考ルParzen波を、点な入、プロと減波返領。、れ方をの、傾し
 数るとき傾ム要やを連てトParzen周量。の的導、マム形は低線広れ布め特情波こ把て、傾し
 彼え二でやラに数と、関イクてバ、計た形元を、スラ状い、をにら分認、形周るに、して、傾し
 周与メ定度グト級こ、にフペしーが統し地次数、一グ彼る布動状めルがて地低え、的、とい
 、をー規高トニ階る、誤理ーウルよト指せ、面たハロの、分振線認ト性し、的言元、数、つ
 けりモをのヌメ、れ、定処ワドイにニをさて向へをし伏、ルて直ガク越と、的較て次、関に
 ず、振れ偏断、モあ善、推化パンフメと張し傾述、図コ起、困トれけとハ卓象面比し、2。似造
 ののるの形が、で改、の滑るイ、ニーこ、振とびて形、の範クつでこ、不、対、も定、た、近、構
 ら幅れ布地別に能が、ル平れウとジモるを題よい地し面及ハに部すや確を、もれ限くれを本
 か域ら分、識ず可さ、トのらルニー次え果問おつ万示表彼、す、波示ム明形でこにし、た、数、基
 布帯得のりるうてい、クル得トるはれ行成る、に、 $\frac{1}{5}$ を地、の、増周をうで地り、形難定級の
 分のらこよすと、つ、パトラクあくるにの、す、化、化、び例、関と、が、高、性、グ、上、の、た、が、地、け、推、エ、そ
 型ルか、に、関、き、よ、い、スクか、ハ、で、ウ、え、単、記、定、量、ル、よ、用、が、相、こ、数、散、口、た、長、る、る、本、扱、と、り、と
 規トルりれに現にあ、ーハ、面、ス、的、ド、車、簡、上、推、定、デ、お、適、造、に、る、波、し、分、れ、し、彼、い、れ、基、選、る、一、現
 正クトよこ布表タう、ワ、ス、断、の、果、こ、を、て、を、の、モ、万、の、構、般、あ、周、少、向、コ、離、の、用、わ、る、の、あ、フ、表
 の、ハ、ク、に、分、う、一、伴、パ、形、め、効、イ、り、し、は、報、性、量、 $\frac{1}{2}$ 、析、列、一、で、減、方、分、定、を、思、す、位、で、重、形
 こ、ス、ハ、量、し、度、い、メ、に、て、地、た、バ、ウ、が、と、で、情、特、計、 $\frac{1}{2}$ 、解、系、的、く、調、て、り、を、一、面、と、と、方、当、2、地
 、の、ス、計、摘、密、と、ラ、定、に、し、の、ウ、が、振、タ、章、面、伏、の、和、時、し、方、き、單、 $\frac{1}{2}$ 、分、断、る、調、に、寄、る、
 た、て、一、統、指、率、線、パ、決、ら、と、え、化、ト、定、の、一、ろ、起、形、す、調、な、致、異、大、ら、た、と、成、は、形、き、基、的、が、に、よ
 ま、し、ワ、る、を、確、曲、る、の、さ、題、加、滑、ニ、決、布、メ、第、ハ、の、地、ま、る、的、一、が、を、が、わ、こ、則、ら、地、で、を、般、と、次、に
 と、パ、す、と、の、横、れ、幅、た、問、を、平、イ、の、分、ラ、報、形、た、す、え、く、化、は、な、に、の、規、な、の、出、分、一、こ、面

パが低化へ近きかハメ断
 る数的形変算にルブ果ラ判
 す関較地の逆値デッ結パと
 対関比本値は論モマのるの
 に相、基差ニ理面スラえも
 量己合、残一ほ向一れ与る
 動自場りをタほ傾べこをれ
 変、るよ性パ、の、量ら
 全がすに現のでこはし諸け
 のる呈と再こ成、布致的づ
 彼ぎをこの、合た分一態置
 分で型ることのまやく形位
 成握つす、す次。量良のて
 各把コ成と示高た計と形し
 、てル合こで最れ結果地と
 はしまをる線、らの結をル
 性と純項れ曲しめきた面デ
 現率単数と少衰認因し何モ
 再与に級現減減ハ形定傾な
 の寄的知再てにと地算のク。
 面の元調にし、的こた接こ
 表一次の分と集く、直、り水
 地フ二次充量キづ用ららトさ

多しる面こ分ルのすーの
 、計れ表る成デ合入フ
 て横さ地ぎ波モ場導、
 して却いで周エのを題、
 とい棄な用高りこル問
 ルつバ少利、一、デの
 テに性のにしつたモ定域
 モ性散伏分似、さ面校衡
 面合分起充近は、何度緩
 向適等るるににた傾合る
 傾の、すで組合しの適す
 るル面とル詳場示次の対
 すデ傾形デりるを高てに
 対モの地モよすと、し果し
 に工次本式をこことと効
 面り低基項面要るし度
 表一、を多表必あと尺edge
 地フて部、地をで題差のい
 、びし彼けな報効問誤ルつ
 によ周て雅情有ののデに
 ちようおそ低し複形ハ上合
 項た様にとの適るり有

おテの化一を
 にそめ大In式
 成量た最の方
 構計るー
 ル、すじ(Akaike's
 デセ入はAICと
 モさ導トAIC準
 量展をこた基
 計発ルエれ価
 たにデ、入評
 しらモてリル
 摘さ面し取デ
 指を何とをモ
 題傾つ念を
 一、概量
 量の次の量計
 定高度報統
 決り尺情統
 度よ差う
 誤いCriterion)

提、よう行て扱、をめ
 Estimation同ハ的値デハ、
 定デ自的量の性

MAIC Eモこーる、的とい
 る、れ観象高
 り、えもさ主対て
 、よ行て扱、をめ
 には、選も夕極
 同時に、表一、
 同時、表一、
 同ハ的値デハ、
 ハル動数の性

推モ、計大実
 の計ハ統、の
 AICの計ハ統、の
 タ統ルのにハ
 ーるデらめ理
 メなモ何た処
 Minimum
 ラ異なのい動
 法パの適めな自
 定と造最たし、のた
 推度構でのと析し
 化由の内定要解摘
 小自く風模必計指
 最の夕範、も統を
 AICル、のと論たと
 (AICデと定こ議しこ
 Eモこーる、的とい
 る、れ観象高

の、面、に、測、理、に、が、れ、が、差、量、面、が、よ、は、的、区、々、る、
 て、報、何、確、計、物、で、現、マ、二、残、を、と、何、関、に、に、上、較、形、ス、ち、
 い、情、傾、明、の、な、し、た、表、現、一、度、報、傾、相、タ、合、何、比、地、ラ、と、
 づ、形、は、て、数、的、と、し、な、表、タ、リ、程、情、一、場、の、な、ク、タ、
 基、地、は、し、指、形、標、摘、的、で、パ、よ、の、た、形、し、高、メ、る、度、様、め、の、
 に、の、異、と、形、地、指、指、質、的、と、さ、れ、地、討、け、ラ、す、精、の、た、て、メ、
 果、法、。、差、い、地、の、を、の、よ、間、こ、粗、さ、る、模、に、パ、定、の、こ、る、い、ラ、
 成、了、た、な、違、や、ば、性、と、素、に、空、す、の、断、れ、て、量、の、推、ぞ、す、つ、パ、
 の、本、し、的、の、斜、れ、地、こ、要、造、の、示、面、判、ら、い、エ、ら、に、た、価、に、を、
 で、る、討、域、性、傾、す、立、る、形、構、差、を、表、と、え、つ、土、れ、的、ば、ま、評、量、度、
 ま、す、模、地、存、均、慮、な、え、地、間、残、性、地、る、与、に、取、こ、似、れ、を、変、似、
 章、対、に、の、依、平、考、的、与、の、空、似、あ、ら、係、切、近、す、た、差、の、近、
 前、に、的、性、斜、を、形、を、て、の、合、類、が、で、か、関、と、て、次、価、し、の、面、の、
 、象、証、特、傾、で、差、地、報、し、面、場、と、量、タ、ル、の、差、一、評、摘、件、何、面、た、
 は、事、実、伏、の、誤、情、と、何、の、布、理、一、デ、と、残、徒、を、て、指、条、傾、向、し、
 て、る、起、差、徒、読、は、形、性、傾、こ、分、物、メ、モ、量、び、量、し、を、形、傾、示、の、
 い、わ、て、の、残、判、差、地、特、な、量、的、ラ、面、エ、よ、と、エ、け、と、地、で、を、
 お、係、い、形、た、と、残、な、形、的、た、伏、形、パ、何、エ、お、こ、土、付、こ、の、し、て、
 に、に、つ、地、し、こ、差、の、的、地、視、す、起、地、る、傾、取、斜、る、取、り、る、域、と、
 章、産、に、離、る、人、て、觀、巨、や、の、え、切、傾、れ、切、重、れ、地、法、よ、分、に、
 5、生、性、が、分、れ、個、し、客、た、的、と、度、て、与、に、の、均、ら、を、な、方、に、
 第、出、効、ま、ら、さ、の、と、り、す、較、こ、密、し、に、次、道、平、め、て、者、待、小、の、
 伐、有、ハ、示、上、量、よ、此、る、谷、と、的、林、の、認、つ、兩、期、狭、分、一、判、
 互、て、林、す、の、間、て、に、的、ム、さ、り、わ、
 相、し、関、形、空、的、較、々、粗、な、ら、
 の、入、果、に、地、の、徒、般、比、二、の、と、あ、
 と、導、結、行、の、一、一、は、ラ、面、形、が、
 性、を、の、步、分、性、と、は、線、の、表、線、性、
 特、数、ぞ、や、部、統、こ、ム、路、ム、地、た、越、
 伏、関、材、連、連、る、ラ、ラ、の、し、卓、
 起、関、た、集、周、の、れ、ケ、合、ケ、て、曲、に、た、
 の、相、し、る、の、そ、マ、口、場、口、し、屈、側、し、
 形、互、示、す、点、と、映、し、な、し、と、は、被、摘、
 地、相、を、制、過、さ、反、コ、的、コ、分、線、周、指、
 と、法、規、通、き、り、ス、配、ス、成、路、高、を、
 置、関、方、を、道、大、な、口、支、口、被、の、と、
 配、相、る、係、林、の、ハ、ク、バ、ク、周、て、ム、こ、
 網、己、す、関、伏、て、の、伏、高、れ、ラ、る、
 路、自、析、の、は、起、伏、起、り、つ、グ、あ、
 解、地、差、一、よ、起、の、な、バ、に、口、ハ、
 道、て、に、林、の、量、に、形、分、と、る、し、何、
 的、と、件、理、ル、地、成、形、な、す、コ、傾、
 つ、列、点、条、物、一、と、被、線、く、加、ス、る、
 系、過、形、な、ケ、網、周、な、強、増、は、く、
 地、的、ス、路、低、純、は、バ、ク、て、
 面、的、單、性、量、れ、